

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2014

Bc. Lichý Milan

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky 410

**Optimalizace osvětlovacích soustav
a řízení osvětlení**
**Lighting systems controlling and
optimization**

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 5. května 2014

podpis

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na tuto diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 5. května 2014

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Milan Lichý

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Vojanova 62
746 01 OPAVA

Abstrakt

Optimalizace osvětlovacích soustav řízení osvětlení - diplomová práce.

Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra elektroenergetiky.

Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Novák, Ph.D.**

Diplomová práce se zabývá teorií a návrhem denního a umělého osvětlení, energetickým vyhodnocením modelové místnosti a porovnáním s reálným stavem. Osvětlení je řízeno pomocí inteligentního řídicího systému na konstantní hadinu osvětlenosti. Umělé osvětlení je řízeno v návaznosti na vstupující denní osvětlení přes osvětlovací otvory. Značná úspora elektrické energie je důvodem k regulaci umělého osvětlení.

Podstatou diplomové práce je porovnání matematických modelů energetických úspor s reálnými naměřenými hodnotami spotřeby elektrické energie. Úspory, které jsou nastíněny investorovi, pomocí matematických modelů můžeme považovat pouze za orientační. Potenciál úspor bude zřejmě daleko vyšší.

Klíčová slova:

Denní osvětlení, umělé osvětlení, energetické vyhodnocení, DALI, úspory elektrické energie

Abstract

This thesis deals with the theory and design of daily and artificial lighting, energy assessment of a model room and comparing with the real situation. Lighting is controlled by an intelligent control system for constant illumination level. Artificial lighting is controlled according to the daily light entering through the lighting apertures. A significant energy saving is the reason for the regulation of artificial lighting.

The aim of the thesis is to compare mathematical models of energy savings with real measured values of electricity consumption. Savings that are outlined to investor through mathematical models are indicative. The potential for savings is likely to be far higher.

Key words:

Daily lighting, artificial lighting, energy assessment, DALI, energy saving

Poděkování

Chtěl bych touto cestou poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Tomáši Novákovi, Ph.D. za odborné rady, ochotu a především čas, který mi věnoval během celého zpracování.

V neposlední řadě chci poděkovat řediteli firmy INGE Opava spol. s.r.o. panu Ing. Zbyňkovi Šimetskovi a ostatním zaměstnancům, kteří mi poskytli potřebné materiály a informace.

Velké díky také patří mé rodině příbuzným a známým za podporu při studiích.

Seznam použitých zkratk:

P_v	poměrná pozorovací vzdálenost
DALI	Digitálně adresovatelné světelné rozhraní
D	Hodnota činitele denní osvětlenosti
D_{\min}	Minimální hodnota činitele denní osvětlenosti
D_m	Průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti
D_{\max}	Maximální hodnota činitele denní osvětlenosti
r	rovnoměrnost denního osvětlení
ČSN	Česká státní norma
TNI	Technická normalizační informace
ρ	Odraznost
τ	Propustnost
Ψ	Úhel prostupu
K	Jednotka teploty chromatičnosti Kelvin
lx	Lux je jednotka intenzity osvětlení
η	Účinnost
ϕ	Světelný tok
R_a	index podání barev
I	Svítivost
UV	Ultrafialové záření
L	Jas

Obsah

Úvod.....	1
2. Normativní požadavky na denní osvětlení	2
2.1. Základní termíny a definice	2
2.2. Technické požadavky.....	3
2.2.1. Kvantitativní kritérium denního osvětlení.....	3
2.2.2. Kvalitativní kritéria denního osvětlení.....	4
2.2.3. Ztráty způsobené průchodem světla přes osvětlovací otvory.....	4
2.2.4. Stanovení činitele denní osvětlenosti	6
2.2.5. Osvětlovací otvory	7
2.2.6. Údržba osvětlovacích otvorů.....	7
3. Normativní požadavky na umělé osvětlení a sdružené osvětlení	10
3.1. Základní termíny a definice	10
3.2. Kritéria pro navrhování osvětlení.....	11
3.2.1. Rozložení jasu	11
3.2.2. Činitele odrazu povrchů	12
3.2.3. Osvětlenost místa zřakového úkolu.....	12
3.2.4. Osvětlení bezprostředního okolí úkolu	13
3.2.5. Rovnoměrnost osvětlení.....	13
3.2.6. Oslnění	13
3.2.7. Osvětlení vnitřního prostoru	15
3.2.8. Barva světla.....	15
3.2.9. Míhání a stroboskopické jevy	17
3.2.10. Udržovací činitelé	17
3.2.11. Požadavky na energetickou účinnost	19
3.2.12. Sdružené osvětlení	19
3.2.13. Přehled požadavků	20
4. Světelné zdroje používané v interiérech.....	21
4.1. Základní světelné technické pojmy.....	21

4.1.1.	Světelný tok [Φ] =lm.....	21
4.1.2.	Svítivost	21
4.1.3.	Prostorový úhel [Ω]=sr.....	21
4.1.4.	Osvětlenost.....	22
4.1.5.	Světlení.....	23
4.1.6.	Jas.....	23
4.1.7.	Měrný výkon	23
4.1.8.	Život světelného zdroje	24
4.2.	Světelné zdroje.....	24
4.2.1.	Teplotní světelné zdroje	25
4.2.2.	Výbojové světelné zdroje	26
4.2.3.	LED.....	28
5.	Řízení osvětlení.....	30
5.1.	Analogové řízení osvětlení.....	30
5.2.	Digitální řízení osvětlení	30
5.3.	Inteligentní řídicí systémy	31
5.3.1.	Senzory.....	32
5.4.	DALI vs. 1-10V	34
6.	Modelová místnost.....	35
7.	Světelně technické výpočty	36
7.1.	Výpočty denního osvětlení.....	36
7.1.1.	Výsledky výpočtu denního osvětlení pomocí programu DIALux verze 4.12.....	36
7.1.2.	Výsledky výpočtu denního osvětlení pomocí programu RELUX 2014.1.1.2.....	37
7.1.3.	Výsledky výpočtu denního osvětlení pomocí programu WDLS 4.1.....	37
7.1.4.	Porovnání výsledků výpočtů denního osvětlení z programů DIALux, RELUX, Wdls	38
7.2.	Výpočty umělého osvětlení.....	39
7.2.1.	Výsledky výpočtu denního osvětlení pomocí programu DIALux 4.12.	40
7.2.2.	Výsledky výpočtu denního osvětlení pomocí programu RELUX 2014.1.1.2.....	41
7.2.3.	Výsledky výpočtu umělého osvětlení pomocí programu WILS 6.4.	42

7.2.4.	Porovnání výsledků výpočtů umělého osvětlení z programů DIALux, RELUX, WILS	42
--------	---	----

8.	Energetické vyhodnocení osvětlovací soustavy.....	43
8.1.	Naměřené hodnoty spotřeby elektrické energie	43
8.1.1.	Denní průběh spotřeby elektrické energie.....	44
8.1.2.	Přehled naměřených a vypočtených hodnoty spotřeby elektrické energie pro měsíc březen 2014.....	45
8.1.3.	Přehled naměřených a vypočtených hodnoty spotřeby elektrické energie pro jednotlivé měsíce.....	47
9.	Závěr	49
10.	Seznam obrázků	51
11.	Seznam tabulek	53
12.	Seznam literatury:.....	54
13.	Seznam příloh:.....	57

Úvod

Hlavním cílem této diplomové práce je porovnání energetické náročnosti navržené osvětlovací soustavy s reálně provozovanou soustavou.

Postup by měl vycházet z návrhu denního a umělého osvětlení, který je zpracován na základě teoretických předpokladů českých norem ČSN- EN 12 464-1 a ČSN 73 0580. Dále z těchto podkladů bude vytvořeno energetické vyhodnocení náročnosti soustavy v nejpoužívanějších výpočetních programech. Výsledky energetických vyhodnocení budou porovnány s reálnými naměřenými hodnotami ze vzorové místnosti.

Podstatou diplomové práce je porovnat hodnoty reálné osvětlovací soustavy, která je regulována inteligentním řídicím systémem na konstantní hladinu osvětlenosti s hodnotami spotřeby elektrické energie, které vycházejí z teoretických předpokladů. Energetické vyhodnocení je vytvořeno na základě výpočtu denního a umělého osvětlení. Výpočty jsou porovnány z programů WDLS a WILS, dále pak z celosvětově rozšířených programu DIALux a RELUX. Bylo prováděno dlouhodobé měření spotřeby elektrické energie v modelové místnosti Vysoké školy báňské. Při měření osvětlení byla osvětlovací soustava provozována v režimu konstantní osvětlenosti na hladinu 300lx.

2. Normativní požadavky na denní osvětlení

Rozptýlené denní světlo i sluneční záření je nedílnou součástí životního prostředí člověka po celou dobu jeho existence a člověk je působení tohoto záření v podmínkách dynamických změn v atmosféře a v podmínkách střídání dne a noci dokonale přizpůsoben. Sluneční záření je nejlevnějším zdrojem světla, které nám zprostředkovává zrakový vjem. Je dokázáno, že sluneční svit má blahodárný účinek na člověka. Řídí časový rytmus mnoha funkcí v našem organismu. Nedostatečné osvětlení denním světlem může mít vliv na člověka v podobě změny časového rytmu, které může vést od metabolických a po psychické poruchy metabolismu, dále může mít za následek celkové oslabení imunitního systému a tím vést k náchylnosti k různým onemocněním. Přímé sluneční záření by nemělo být opomíjeno z důvodu schopnosti dezinfekce vnitřních prostor budov. Denní světlo, tedy sluneční svit patří k obnovitelným zdrojům energie. Sluneční svit má spoustu příznivých vlastností. Přímé využití slunečního svitu není nijak spojeno s kontaminací životního prostředí odpady. Správně navržené denní osvětlení interiéru může spořit elektrickou energii využitou pro umělé osvětlení. [1]

2.1. Základní termíny a definice

Zraková pohoda

Zraková pohoda je definována jako subjektivní stav zrakového pohodlí vyvolaný světelným prostředím. Zrakovou pohodou se rozumí příjemný psychofyzilogický stav, potřebný pro účinnou práci i odpočinek, splňující hygienické požadavky, které závislí především na intenzitě a jakosti osvětlení, na architektonických vlastnostech prostoru a na stavu zraku uživatele.

Odstupňování denní osvětlenosti:

Vnitřní prostor může být rozdělen do funkčně vymezených částí v souladu s charakterem činností, pro něž je funkčně vymezená část určena.

Poměrná pozorovací vzdálenost:

Poměrná pozorovací vzdálenost je podíl vzdálenosti kritického detailu od oka pozorovatele a rozměru pozorovaného předmětu.

$$p_V = \frac{P}{d} \quad (2.1.)$$



Obr. 1 Poměrná pozorovací vzdálenost

Trvalý pobyt:

Trvalý pobyt je definován jako pobyt lidí ve vnitřním prostoru nebo v jeho funkčně vymezeném prostoru, který trvá v průběhu jednoho dne déle než 4 hodiny a opakuje se při trvalém užívání budovy více než jednou týdně.

Srovnávací rovina:

Je rovina, na které se určuje nebo měří hodnota intenzity osvětlení. Pro denní osvětlení je srovnávací rovina stanovena ve vzdálenosti 1m od obvodového zdiva a ve výšce 0,85 m nad úrovní podlahy nevyžaduje-li funkční využití místnosti výšku jinou. Pro komunikační prostory a chodby by pak byla výška srovnávací roviny stanovena na hodnotu 0m nad úrovní podlahy.

Izofota:

Čára, která spojuje kontrolní body na srovnávací rovině se stejnou hodnotou intenzity osvětlení

Kontrolní body:

Jsou body, kterými je tvořena srovnávací rovina. V tomto bodě jsou zjišťovány parametry osvětlení [2]

2.2. Technické požadavky

Ve vnitřních prostorech s trvalým pobytem lidí je nutno v souladu s jejich funkcí co nejlépe využívat denního osvětlení, které je pro člověka nenahraditelné. Denním osvětlením je nutno vytvořit podmínky pro dokonalou zrakovou pohodu uživatele prostoru a je nutno docílit dobré schopnosti zrakových úkonů spojených s vykonávanou prací. Tímto vyhovujícím osvětlením také zabráníme vzniku předčasné a nadměrné únavy a předcházíme možnosti vzniku úrazu podmíněného zhoršeným viděním. Ideální osvětlovací otvory jsou navrženy tak, aby i při obvyklém pohledu pozorovatele využívajícího vnitřního prostoru, byl optický kontakt s okolím, nejlépe i při vodorovném směru pohledu. [2]

2.2.1. Kvantitativní kritérium denního osvětlení

Pro zajištění zrakové pohody je třeba umožnit přístup denního světla v dostatečném množství. Kvantitativní kritérium denního osvětlení je stanoveno pomocí činitele denní osvětlenosti $D[\%]$: [2]

$$D = \frac{E}{E_h} \times 100 \quad [\%, lx, lx], \quad (2.2.)$$

kde $E[lx]$ je osvětlenost naměřen v kontrolním bodě srovnávací roviny v interiéru a $E_h[lx]$ je osvětlenost nezastíněné venkovní vodorovné roviny.

Poměr osvětlenosti v interiéru a osvětlenosti na venkovní nezastíněné vodorovné rovině je činitel denní osvětlenosti. Velikost činitele denní osvětlenosti je proměnlivá hodnota, která je

závislá na ročním období, množstvím oblačnosti a dobou mezi východem a západem slunce. [2]

2.2.2. Kvalitativní kritéria denního osvětlení

Dostatečné množství denního světla nám ještě nemusí zajistit zrakovou pohodu, ze které vychází většina požadavků na osvětlení. Světlo vstupující do vnitřního prostoru musí odpovídat určité kvalitě. Jedním z nejdůležitějších kvalitativních požadavků je rovnoměrnost denního osvětlení $r[-]$, která je vyjádřena podílem minimální a maximální hodnoty činitele denní osvětlenosti změřené v kontrolních bodech určité srovnávací roviny:

$$r = \frac{D_{min}}{D_{max}}. \quad (2.3.)$$

K dalším kvalitativním požadavkům můžeme řadit:

Rozložení světelného toku

Vhodné je ve většině případů osvětlení zleva nebo zprava a zepředu.

Rozložení jasů ploch v zorném poli

Kontrasty a jasy v zorném poli pozorovatele mohou být nepříjemné až nebezpečné, proto je důležité se těmto jasům v zorném poli pozorovatele vyhnout za účelem soustředění se na předmět zrakové činnosti

Zábrana oslnění

Osvětlovací otvory by neměly být umístěny v zorném poli pozorovatele. Pro kvalitní zabránění oslnění je nutno použít pevné nebo pohyblivé zařízení pro omezení nežádoucího přímého slunečního svitu

Plochy v interiéru

Kolority povrchů mají vliv nejen na odrazivost a tím i na množství světla v uzavřené místnosti, ale i na psychologický stav člověka. [2]

2.2.3. Ztráty způsobené průchodem světla přes osvětlovací otvory

Ztráty vznikající prostupem světla přes okenní otvor jsou způsobeny materiálem, kterým je okenní otvor zasklen, neprůsvitnými částmi okenní konstrukce, vlivem znečištění na obou stranách a také částečným stíněním osvětlovacího otvoru. Činitel prostupu světla $\tau[-]$ je charakteristickou veličinou popisující světelné ztráty při průchodu světla osvětlovacím otvorem. Je stanoven jako poměr mezi světelným tokem, který projde přes osvětlovací otvor a světelným tokem dopadajícím na plochu okenního otvoru. U vícevrstvých skel oddělených vzduchovou mezerou je nutno uvažovat výsledný činitel přestupu jako součin jednotlivých činitelů přestupu světla. [2]

Tab. 1 Hodnoty činitele prostupu světla u vybraných materiálů při kolmém dopadu světla [2]

Druh materiálu		Činitel prostupu světla $\tau_{a,nor}$ [–]
Čiré tabulové sklo 3 až 4 mm		0,92
Surové sklo (nevzorované)		0,88
Vzorované sklo		0,85 až 0,90
Drátované sklo 6 až 7 mm		0,60 až 0,86
Mdlené sklo		0,75 až 0,80
Laminát se skelným vláknem		0,35 až 0,85
Akrylát	Čirý	0,85 až 0,92
	Rozptýlený	0,60 až 0,80
Netermální skla		0,35 až 0,70
Reflexní skla		0,55 až 0,65
Skleněné tvárnice	Jednovrstvé	0,85 až 0,89
	Dvouvrstvé	0,55 až 0,62
Skleněné příčky z tvárnice Copilit (dle výrobce)	Jednovrstvé	0,86
	Dvouvrstvé	0,80
Záclony		0,50 až 0,75

Činitel prostupu světla je závislý na úhlu dopadu Ψ světla na daný osvětlovací otvor. Pro zasklení dvojítm vakuovým sklem platí pro činitel prostupu světla rovnice:

$$\tau_{s\Psi} = \tau_{snor} \times \cos\Psi \times \left(1 + \frac{\sin^2\Psi}{2}\right) \quad (2.4.)$$

kromě úhlu dopadu je přestup světla také ovlivněn neprůsvitnými částmi konstrukce okna a jeho znečištěním. Vliv okenních rámců a dalších částí konstrukce okna je vyjádřen pomocí činitele prostupu světla stíněním konstrukcí osvětlovacího otvoru nepropouštějící světlo. [3] [2]

$$\tau_k = \frac{S_s}{S_c}, \quad (2.5.)$$

Kde S_s [m^2] j průsvitná plocha, S_c [m^2] celková skladebná plocha

Dalším činitelem ovlivňující hodnotu činitele denního osvětlení je činitel znečištění na vnější τ_{ze} [–] a vnitřní τ_{zi} [–]straně. Celkový činitel znečištění je dán součinem jednotlivých činitelů: [3] [2]

$$\tau_z = \tau_{ze} \times \tau_{zi} \quad (2.6.)$$

Tab. 2 Činitel znečištění [2]

Druh osvětlovacího otvoru	Sklon zasklení osvětlovacího otvoru	Znečištění vzduchu	Činitel znečištění	
			Na vnější straně $\tau_{ze} [-]$	Na vnitřní straně $\tau_{zi} [-]$
Svislý	90°	Malé	0,95	0,95
		Střední	0,90	0,85
		Velké	0,85	0,65
Šikmý	45°	Malé	0,80	0,95
		Střední	0,70	0,90
		Velké	0,60	0,80
Vodorovný	0°	Malé	0,70	0,95
		Střední	0,60	0,90
		Velké	0,50	0,80

Souhrnný činitel světelné propustnosti $\tau_{o\psi}$ při úhlu dopadu ψ na osvětlovací otvor je dán součinem jednotlivých činitelů: [3] [2]

$$\tau_{o\psi} = \tau_{s\psi} \times \tau_k \times \tau_z. \quad (2.7.)$$

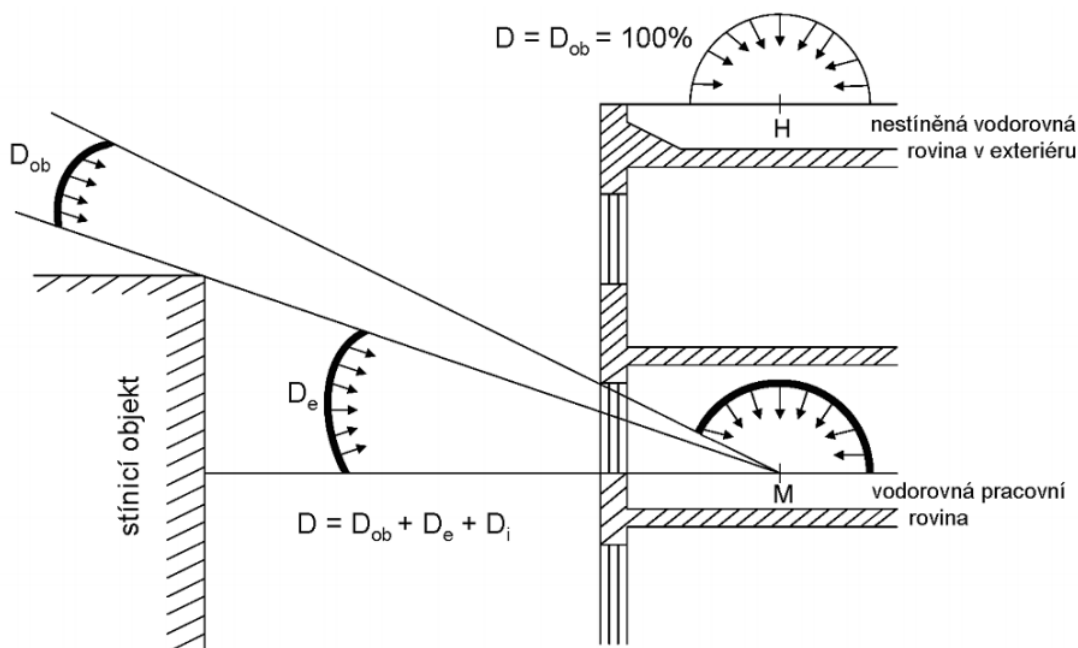
2.2.4. Stanovení činitele denní osvětlenosti

Hodnotu činitele denní osvětlenosti lze určit několika varianty:

- Měřením na stavbě:
- Měřením na modelu,
- Výpočtovou metodou.

Při měření činitele denní osvětlenosti na stavbě je potřeba dvou luxmetrů, kterými současně měříme hodnotu intenzity denního světla uvnitř měřeného prostoru a hodnotu na nezastíněné vodorovné rovině. Při výpočtu je nutno vyjít z poznatků, že kontrolní může být osvětleno kombinacemi přímého oblohového světla, světla odraženého od vnějších stínících překážek a sousedních objektů a také světla odraženého od vnitřních konstrukčních částí a povrchů. Výsledná hodnota činitele denní osvětlenosti je tedy složena z oblohové složky D_{ob} [%], vnější odražené složky D_e [%] a vnitřní odražené složky D_i [%], [3]

$$D = D_{ob} + D_e + D_i. \quad (2.8.)$$



Obr. 2 Složky činitele denní osvětlenosti [2]

2.2.5. Osvětlovací otvory

Denní světlo je do místnosti distribuováno pomocí oken, světlíků a světlovodů. U těchto osvětlovacích otvorů je požadavek, aby splňovali několik kritérií:

- Při boční osvětlení je potřeba osadit okenní otvor co nejvýše, přitom je však nutno uvažovat s možností instalace různých regulačních prvků.
- Je nutné, aby osvětlovací otvory plnili taktéž energetické požadavky.
- Po světelné stránce musí být okenní otvor navržen tak, aby propouštěl co nejvíce denního světla, současně aby zasklení neměnilo spektrální složení denního světla a při průhledu nezakresloval, je-li průhled okenním otvorem požadován. [6]

2.2.6. Údržba osvětlovacích otvorů

Při návrhu okenních otvorů je uvažováno s pravidelnou údržbou. Interval údržby by měl být dvakrát ročně, není-li stanoveno jinak zvláštními předpisy. Při silném znečištění je nutno provádět údržbu čištěním i čtyřikrát ročně. [6]

2.2.7. Stanovení činitele odrazu

Pro povrchy vnitřních prostorů se nedoporučuje používat lesklých povrchových úprav, aby nedocházelo k oslnění odrazem světla, zejména pak ve spodní části zorného pole, kde je lidský zrak obzvláště citlivý. Pro výpočet denního osvětlení je nutno stanovit odrazu světla podle konkrétních podmínek. Neznáme-li konkrétní podmínky je možno tyto parametry stanovit dle ČSN 73 0580 – 1. Průměrný činitel odrazu světla vnitřních povrchů je 0,5. Použijeme-li vyšší

hodnoty odrazivosti povrchů je nutno tuto skutečnost doložit projektem barevného řešení všech povrchů vnitřního prostoru, který bude obsahovat plochu a činitele odrazu povrchů. [3]

Tab. 3 Směrné hodnoty činitele odrazu světla běžných povrchů [2]

Druh povrchu		Činitel odrazu světla ρ
Povrch konstrukce	Bílý	0,75 až 0,80
	krémový, béžový	0,60 až 0,70
	světle žlutý	0,60 až 0,70
	tmavě žlutý	0,50 až 0,60
	světle červený	0,40 až 0,50
	tmavě červený	0,15 až 0,30
	světle zelený	0,45 až 0,65
	tmavě zelený	0,05 až 0,20
	světle modrý	0,40 až 0,60
	tmavě modrý	0,05 až 0,20
	hnědý	0,12 až 0,25
	světle šedý	0,40 až 0,60
	tmavě šedý	0,15 až 0,20
	černý	0,01 až 0,03
Cihla červená, pálená hlína		0,25
Písek světlý		0,50
Sádra bílá		0,80 až 0,92
Mramor bílý		0,55 až 0,80
Žula		0,40 až 0,50
Dřevo světlé		0,30 až 0,50
Dřevo tmavé		0,15 až 0,25
Zeleň, tráva		0,05 až 0,10
Asfaltový povrch		0,10
Betonová dlažba		0,30
Zemina		0,08 až 0,20
Ocel		0,28
Hliník eloxovaný nebo leštěný		0,75 až 0,85
Zrcadlo skleněné		0,80 až 0,90
Okno s čirým zasklením		0,10
Okno s čirým zasklením a záclonou		0,30 až 0,40
Sníh		0,75 až 0,80

Stanovení optimální složky denního osvětlení uvnitř budov plyne ze zatřídění pracovních prostorů do třídy zrakové činnosti. Je-li denní osvětlení vnitřního prostoru nebo jeho funkčně vymezené části určeno pro různé zrakové třídy, pak musí prostor splňovat světelné podmínky pro nejnáročnější třídu zrakového úkonu. [2]

Tab. 4 Třídění zrakových činností a hodnoty činitele denní osvětlenosti [2]

Třída zrakové činnosti	Charakteristika rizika zrakové činnosti	Poměrná pozorovací vzdálenost	Příklady zrakových činností	Hodnota činitele denní osvětlenosti v %	
				minimální D_{\min}	průměrná D_m
I	mimořádně přesná	3330 a větší	nejpřesnější zraková činnost s omezenou možností, s požadavkem na vyloučení chyb v rozlišení, nejobtížnější kontrola	3,5	10
II	velmi přesná	1670 až 3330	Velmi přesné činnosti při výrobě a kontrole, velmi přesné rýsování, ruční rytí s velmi malými detaily, velmi jemné umělecké práce.	2,5	7
III	Přesná	1000 až 1670	Přesná výroba a kontrola, rýsování, technické kreslení, obtížné laboratorní práce, náročné vyšetření, jemné šití, vyšívání	2	6
IV	Středně přesná	500 až 1000	Středně přesná výroba a kontrola, čtení, psaní, obsluha strojů, běžné laboratorní práce, vyšetření, ošetření, hrubší šití, pletení, žehlení	1,5	5
V	Hrubší	100 až 500	hrubší práce, manipulace s předměty a materiálem, konzumace jídla a obsluha, oddechové činnosti, základní rekreační tělovýchova, čekání	1	3
VI	velmi hrubá	menší než 100	Udržování čistoty, sprchování a mytí, převlékání, chůze po komunikacích přístupných veřejnosti	0,5	2
VII	celková orientace	-	Chůze, doprava materiálu, skladování hrubého materiálu, celkový dohled	0,25	1

3. Normativní požadavky na umělé osvětlení a sdružené osvětlení

Normativními požadavky na umělé osvětlení se zabývá norma ČSN-EN 12464-1 Světlo a osvětlování – Osvětlování pracovních prostorů, Část 1: Vnitřní pracovní prostory, zde je možno nalézt údaje o intenzitě osvětlení v určité pracovní rovině pro různé činnosti, rovnoměrnost osvětlení, oslnění a požadavky na věrnost podání barev R_a . V této převzaté Evropské normě je přehled nejrozličnějších pracovních činností s uvedenými normativními hodnotami. Není-li ve výčtu uvedená potřebná činnost, můžeme zatřídit do skupiny podobně zrakově náročných operací. Pro kosmetickou činnost lze použít požadavků na osvětlení z kapitoly zdravotnictví – vyšetřovny obecně a to i přesto, že péče o tělo není zdravotnický provoz. Ovšem opačný postup je zcela nesprávný. Stanovení vhodné osvětlenosti není jediným kritériem pro zajištění optimálních podmínek na pracovních místech a v místech zrakového úkonu. Mezi ostatní parametry, které určují světelné prostředí, jsou rozložení jasu, rovnoměrnost osvětlení, podání barev a barevný tón světla, oslnění a míhání světla. [1]

3.1. Základní termíny a definice

Aktivní prostor

- Je to prostor, v němž je vykonávána určitá činnost

Pozadí úkolu

- Prostor přilehlý k bezprostřednímu okolí úkolu

Bezprostřední okolí úkolu

- Pás, který obklopuje místo zrakového úkolu uvnitř zorného pole

Úhel clonění

- Je úhel svíraný vodorovnou rovinou a prvním směrem pohledu, při němž lze přímo vidět svítící část světelných zdrojů

Místo zrakového úkolu

- Místo, kde je vykonáván zrakový úkol

Zrakový úkol

- Základními parametry zrakového úkolu je velikost pozorovaného předmětu, její jas, kontrast s pozadím a doba trvání pozorování daného předmětu.

Pracoviště

- Prostor uvnitř podniku nebo organizace předem určený k umístění pracovních míst, nebo prostor, do něhož má pracovník při svém zaměstnání přístup

Pracovní místo

- Je prostorové uspořádání vybavení pracovního prostředí

Adaptace

- Je proces, v jehož průběhu se zrak přizpůsobuje předešlým a současným podnětům s různým jasnem, spektrálním složením nebo zorným úhlem

Akomodace oční čočky

- Akomodace oční čočky je přizpůsobení ohniskové vzdálenosti oční čočky takovým způsobem, aby obraz předmětu na sítnici byl zaostřen [4]

3.2. Kritéria pro navrhování osvětlení

Aby byla správně navržena osvětlovací soustava, je nutno krom požadované hodnoty osvětlenosti nutno splnit i další kvalitativní a kvantitativní požadavky. Tyto požadavky vycházejí ze základních lidských potřeb:

- Zrakové pohody, která přispívá k dobrému pocitu uživatelů prostředí a napomáhá k vysoké produktivitě práce
- Bezpečnosti
- Zrakového výkonu, když jsou uživatelé osvětleného prostoru schopni vykonat zrakové úkoly i při obtížných podmínkách během dlouhé doby

Hlavní parametry určující světelné prostředí:

- Rozložení jasů
- Světelnost
- Směrovost světla
- Podání barev a barevný tón světla
- Míhání
- Denní světlo

[4]

3.2.1. Rozložení jasu

Adaptace zraku je určena rozložením jasu v zorném poli. Viditelnost úkolu je výrazně ovlivněna adaptací zraku. Je-li adaptační jas dobře vyvážen, dochází ke zlepšení zrakové ostrosti, kontrastní citlivosti a účinnosti zrakových funkcí. Zraková pohoda je rovněž ovlivněna rozložením jasu v zorném poli. Abychom docílili zrakové pohody je nutno vyloučit:

- Vysoké jasy, které mohou zvětšit oslnění
- Vysoké kontrasty jasů, které mohou působit únavu v důsledku neustálé readaptace zraku
- Naopak příliš nízké jasy rovněž vedou k únavě z důvodu monotónního nestimulujícího pracovního prostředí [5]

3.2.2. Činitele odrazu povrchů

Dle ČSN EN 12 464-1 je doporučený rozsah činitelů odrazu hlavních rozptylných povrchů v místnosti stanoven takto:

- Strop: 0,7 až 0,9;
 - Stěna: 0,5 až 0,8;
 - Podlaha: 0,2 až 0,4.
- [4]

3.2.3. Osvětlenost místa zrakového úkolu

Hodnoty uvedené v ČSN-EN 12 464-1 jsou hodnoty udržované osvětlenosti v místě zrakového úkolu na příslušné srovnávací rovině. Průměrná naměřená nebo vypočtená hodnota, nesmí během životnosti osvětlovací soustavy, klesnou pod tuto normou vyžadovanou hodnotu. Rychlost vnímání, bezpečnost a pohodlí při vykonávání zrakového úkolu je ovlivněna osvětleností v místě zrakového úkolu a jejím rozložením. Tyto hodnoty mohou být uplatněny pro zrak normálního uživatele a při zahrnutí těchto činitelů:

- Psychofyzilogických hledisek jako zrakové a celkové pohody
- Požadavků na zrakové úkoly
- Zraková ergonomie
- Zkušeností z praxe
- Bezpečnosti a hospodárnosti

Řady osvětlenosti:

20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1 000 – 1 500 – 2 000 – 3 000 – 5 000

[4]

Hodnota 20 lx byla přijata jako nejnižší pro řadu osvětlenosti z důvodu, že právě při této intenzitě začíná rozlišovací schopnost rysů lidského obličeje. Hodnota osvětlenosti může být korigována nejméně o jeden stupeň normové řady, liší-li se zrakové podmínky od normálních předpokladů.

Požadovanou osvětlenost je nutno zvýšit je-li:

- Rozhodující zraková činnost při práci
 - Odstranění nebo oprava chyb je velice nákladná
 - Důležitá vysoká přesnost a produktivita
 - Zraková schopnost osob pohybujících se v daném prostoru snížena
 - Zrakový úkol neobvykle malý nebo málo kontrastní
 - úkol vykonáván po nestandardně dlouhou dobu
- [4]

Snížit je možné udržovanou osvětlenost v následujících případech, je-li:

- kritický detail nestandardně velký nebo má-li velký kontrast
- Úkol vykonáván po nestandardně krátkou dobu.

Za nestandardně dlouhou dobu lze považovat takový stav, kdy je zrakový úkol vykonáván v prostoru bez denního světla nebo s nedostačujícím denním světlem, která je delší než 4 hodiny, nebo v několika kratších úsecích s celkovou dobou přesahující 4 hodiny. Nestandardně krátkou dobu lze považovat například obvyklý pohyb po chodbách.

Prostor, kde je trvalý pobyt osob nesmí být udržována osvětlenost nižší než 200 lx. Tato hodnota tvoří tzv. „hygienické minimum“.

[5]

3.2.4. Osvětlení bezprostředního okolí úkolu

Hodnota intenzity osvětlenosti bezprostředního okolí zrakového úkolu úzce souvisí s osvětlením místa zrakového úkolu. Tato hodnota se má zasloužit o vyvážení rozložení jasů v zorném poli pozorovatele. Není-li osvětlenost bezprostředního okolí úkolu vyhovující, může mít za následek přílišné namáhání zraku a zrakovou nepohodu. Není důležité, aby bezprostředního okolí úkolu bylo osvětleno stejně intenzivně jako úkol samostatný, avšak musí být splněna následující tabulka.

[4] [5]

Tab. 5 Hodnoty intenzit osvětlení bezprostředního okolí úkolu v závislosti na osvětlenosti úkolu [4]

Osvětlenost úkolu (lx)	Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu (lx)
≥ 750	500
500	300
300	200
200	$E_{\text{úkolu}}$
Rovnoměrnost: $\geq 0,70$	Rovnoměrnost: $\geq 0,50$

3.2.5. Rovnoměrnost osvětlení

V místě zrakového úkolu má být rovnoměrnost osvětlení co nejvyšší. Rovnoměrnost bezprostředního okolí zrakového úkolu nesmí být nižší než ve výše uvedené tabulce. Poměr průměrné hodnoty osvětlenosti mezi sousedícími propojenými prostory by neměl být menší než 1:5.

[5]

3.2.6. Oslnění

Oslnění je vjem, který je způsoben jasnými povrchy v zorném poli. Oslnění může být vnímáno jako rušivé nebo omezující. Oslnění, které je způsobeno přímo zrcadlovými odrazy, je chápáno jako závojevé oslnění, které může být také označováno jako oslnění odrazem. Omezení těchto vjemů je nutno minimalizovat abychom předešli chybám, únavě a úrazům. Oslnění může být způsobeno okenními otvory s velkými jasy nebo přímo samostatnými svítidly. Dodržíme-li všechny limity rušivého oslnění, pak není oslnění problémem. Údaje o hodnotě rušivého oslnění jsou uvedeny v ČSN – EN 12 464 – 1. Mezní hodnoty UGR uvedené v ČSN jsou vybrány

z řady 16, 19, 22, 25, 28. Zvláště pak musíme brát v úvahu prostory s monitory, kde je potřeba zabránit nechtěným odleskům, zde je požadována nejnížší hodnota UGR 16. [5]

3.2.6.1. Rušivé oslnění

Podle následujícího vzorce musí být stanoven index oslnění přímo od svítidel. Jedná se o jednotný systém hodnocení. [5]

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right). \quad (3.1.)$$

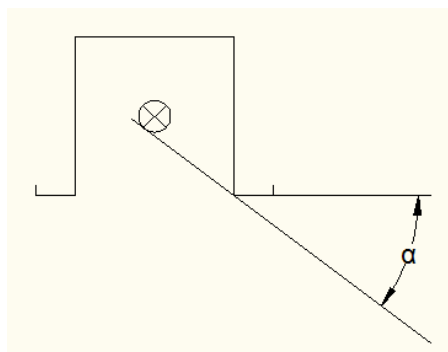
Přičemž platí: L_b je jas pozadí
 L jas svítidla ve směru očí pozorovatele
 ω prostorový úhel všech svítících svítidel vzhledem k vzhledem k očím pozorovatele
 p činitel polohy určen podle Gutha pro každé svítidlo v závislosti na odklonu od směru pohledu pozorovatele

3.2.6.2. Oslnění omezené cloněním

Je nutnosti jasné zdroje světla vhodně zaclonit, tak aby nezhoršovala viditelnost předmětů. Pro určité jasy světelných zdrojů je nutno zajistit minimální úhly clonění dle následující tabulky. [5]

Tab. 6 Jasy světelných zdrojů a minimální úhly clonění [4]

Jas světelného zdroje ($kcd \times m^2$)	Minimální úhel clonění ($^\circ$)
20 až < 50	15
50 až < 500	20
≥ 500	30



Obr. 3 Znázornění úhlu clonění

3.2.6.3. Oslnění odrazem a závojové odrazy

Jak již bylo zmíněno, odrazy světla mohou v místě zrakového úkolu nepříznivě ovlivnit uživatele a měnit viditelnost úkolu. Závojové odrazy a oslnění odrazem mohou být omezeny pomocí několika způsobů. [4]

3.2.7. Osvětlení vnitřního prostoru

Kromě osvětlení zrakového úkolu je nutno, aby byl prosvětlen také celý objem prostoru, který je užíván lidmi. Toto prosvětlení zajistíme, dodržíme-li požadavek střední válcové osvětlenosti \bar{E}_z . Tato hodnota udržované střední válcové osvětlenosti v aktivních vnitřních prostorech nesmí být menší než 50lx při dodržení rovnoměrnosti $U_0 \geq 0,10$. Měření či výpočet je prováděn ve výšce 1,2m nad úrovní podlahy pro sedícího uživatele a ve výšce 1,6m pro uživatele stojícího. Prostory, kde je zapotřebí dobrá vizuální komunikace, jako například učebny kanceláře a zasedací místnosti by udržovaná hodnota střední válcové osvětlenosti neměla klesnout pod hranici 150 lx při dodržení rovnoměrnosti $U_0 \geq 0,10$. [4] [5]

3.2.7.1. Podání tvaru

Podání tvaru můžeme požadovat jako činitel, který popisuje vyváženost mezi světlem přímým a difuzním. Použijeme-li příliš rozptýleného světla, bude prostor působit monotónně. Naopak násobné stíny způsobené směrovým světlem z více stran je třeba vyloučit, aby nevznikal chaotický vizuální efekt. [11]

3.2.7.2. Směrovost osvětlení zrakových úkolů

Určitý směr toku světla může napomoci odhalit detaily zrakového úkolu, dále pak může zlepšit celou viditelnost úkolu a s tím spojené jeho vykonání. Je zapotřebí vyhnout se závojovým odrazům a oslnění odrazem. Příliš ostré stíny však mohou zhoršit rozlišovací schopnosti a tím zhoršit prostředí pro vykonávání zrakového úkolu. [11]

3.2.8. Barva světla

Obecně lze popsat barvu světla světelných zdrojů a denního světla pomocí dvou parametrů, které je třeba hodnotit nezávisle na sobě:

- barevným tónem světla
- kvalitou podáním barev

[4]

3.2.8.1. Barevný tón světla

Volba barevného tónu světla je zejména záležitostí psychologie daného prostředí. Pro prostory v horkých klimatických podmínkách je vhodnější zvolit studenější zdroj světla, naopak v chladných klimatických podnebí je vhodné zvolit teplý tón světla. Volba dále záleží na úrovni osvětlení, koloritě povrchů, barevnosti nábytku, ale taky na prostředí pro které má být prostor využíván a jakou náladu by měl prostor vytvářet.

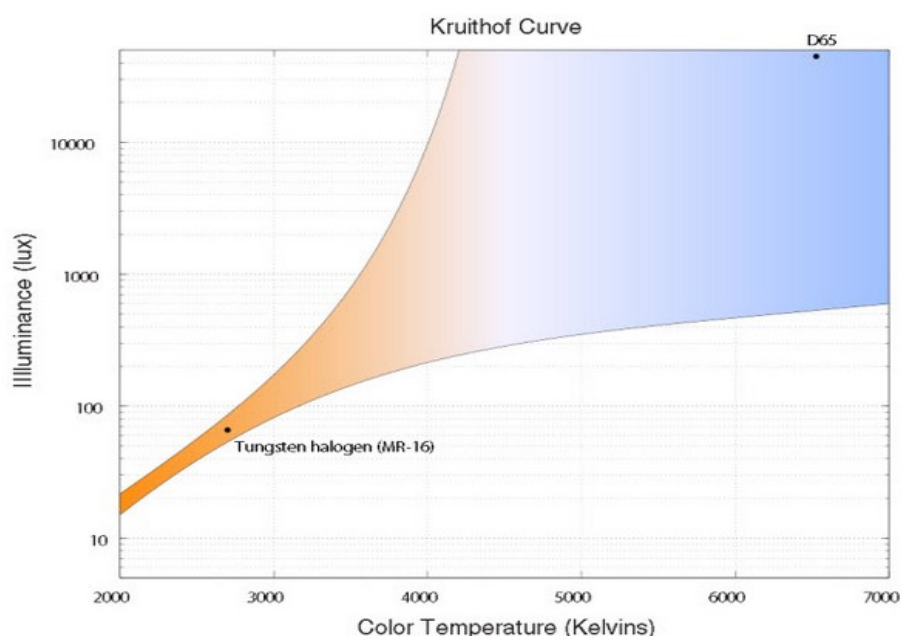
Barevný tón denního světla je proměnný během dne, naopak barevný tón světelného zdroje je vztažen ke zdánlivé barvě vyzařovaného světla. Tato barva je kvantifikována pomocí tzv. náhradní teploty chromatičnosti. T_{CP}

U světlených zdrojů může být barevný tón rozdělen dle následující tabulky. [4]

Tab. 7 Barevné tóny světlených zdrojů [4]

Barevný tón světla	Náhradní teplota chromatičnosti T_{CP} (K)
Teplá bílá	Do 3000
Neutrální bílá	3300 až 5300
Chladná bílá	Nad 5000

Problematikou barevného tónu světla se zabýval holandský fyzik Arie Andries Kruithof, který sestavil Kruithofův diagram. Křivka vyjadřuje závislost barvy světla na intenzitě osvětlení tak aby výsledné osvětlení bylo z psychologického hlediska pro pozorovatele považováno za přirozené. Světelné podmínky v ohraničené oblasti jsou považovány jako přirozené a příjemné pro pozorovatele, zatím co podmínky mimo tuto oblast jsou považovány za nepříjemné nebo nepřirozené. Světelné zdroje, které jsou v oblasti Kruithofova diagramu se úzce podobají vyzařování absolutně černého tělesa. [12]



Obr. 4 Kruithofův diagram [12]

Kruithof curve /Kruithofův diagram

Illuminance/Osvětlenost

Color temperature/ teplota chromatičnosti

3.2.8.2. Index podání barev R_a [–]

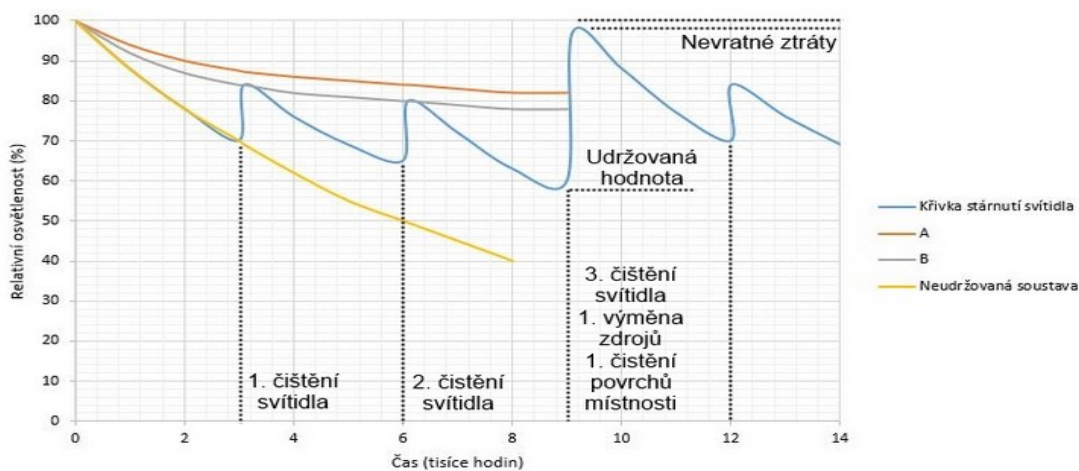
Světelné zdroje mohou mít stejnou teplotu světla a přitom mohou vykazovat zcela jiné vlastnosti podání barev. Tento faktor je určen pomocí indexu podání barev, který určuje jak dalece je spektrum světelného zdroje věrohodně zobrazit barvy. Index podání barev se pohybuje v rozmezí 0-100. Tento parametr je zjištěn pomocí průměrování indexů podání zkušebních barev. Nej kvalitnější podání barev dosahujeme pomocí klasické žárovky, která má index podání barev R_a 100, naopak na druhém konci stojí monochromatický vyzařující nízkotlaká sodíková výbojka s indexem podání barev R_a 0. [6]

3.2.9. Míhání a stroboskopické jevy

Míhání a stroboskopický jev můžou vyvolat nepříjemné fyziologické projevy a může vést k nebezpečným situacím. [4] Za zdroj přerušovaného světla můžeme považovat zářivky a výbojky. V těchto zdrojích dochází k opakovanému přerušování výboje 100 krát za sekundu při frekvenci 50 Hz. Nastane-li situace, že toto světlo bude svítit na periodický děj, pak může nastat okamžik, kdy budeme vnímat pouze jednotlivé fáze periodického pohybu. [7]

3.2.10. Udržovací činitelé

Veškeré osvětlovací soustavy začínají uvedením do provozu proces stárnutí. Proto je nutností, již ve fázi projektu se ztrátou světelného toku uvažovat. Ztráty jsou způsobeny znečištěním a stárnutím světelných zdrojů. Není-li tento znehodnocující jev zahrnut při návrhu osvětlovací soustavy, stane se toto osvětlení brzy nevyhovujícím až nebezpečným. Do výpočtových programů se tento parametr vkládá pomocí tzv. udržovacího činitele. Tento činitel je závislý na typu provozu, druhu osvětlovací soustavy ale také na stanovení plánu údržby. [8]



Legenda:

A: Křivka stárnutí povrchů místnosti (činitel odrazu stropu/stěn/podlahy : 70/50/20 %, čisté prostředí)

B: Křivka stárnutí světelného zdroje (zářivka s třípásmovým luminoforem)

Obr. 5 Změna osvětlenosti v průběhu života osvětlovací soustavy [8]

3.2.10.1. Nevratné činitele

Vlivem stárnutí a teplot při provozu osvětlovací soustavy dochází k opotřebení materiálu a tmavnutí barev. Tyto ztráty nezle zpomalit ani pravidelnou údržbou svítidel. Hodnota těchto ztrát by neměla přesáhnout 3% během životnosti soustavy a proto je neekonomické tyto ztráty odstraňovat. [9]

3.2.10.2. Vratné činitele

Na rozdíl od nevratných ztrát lze tyto ztráty bezproblémově pravidelnou údržbou svítidel odstranit. Mezi vratné činitele lze zařadit tyto:

- Pravidelné čištění optických částí svítidla
- Pravidelná výměna světelných zdrojů
- Výměna nefunkčních zdrojů
- Obnovou povrchových nátěrů osvětlovaného prostoru

[6]

3.2.10.3. Interval čištění a plán údržby

Pravidelným čištěním lze výrazně zlepšit účinnost osvětlovací soustavy. Pro četnost pravidelného čištění slouží technická normalizační informace TNI 36 0451, ve které je stručně a přehledně uveden interval čištění pro různé osvětlovací soustavy v různých provozech. [9]

Tab. 8 Kategorie čistoty dle TNI 36 0451 [27]

Kontrolní interval	Kategorie čistoty	Pracoviště
3 roky	Velmi čisté (VČ)	Čisté místnosti, závody na výrobu polovodičů, nemocniční oddělení, výpočetní střediska
	Čisté (Č)	Úřady, školy, areál nemocnic
2 roky	Normální (N)	Obchody, laboratoře, restaurace, obchodní domy, montážní plochy, dílny
1 rok	Špinavé (Š)	Ocelárny, chemické závody, slévárny, svařování, leštění, práce se dřevem

Tab. 9 Doporučené intervaly čištění dle TNI 36 0451 [27]

Intervaly čištění		3 roky			2 roky			1 rok		
Typ svítidla	Prostředí	VČ,Č	N	Š	VČ,Č	N	Š	VČ,Č	N	Š
S necloněným světelným zdrojem		X				X				X
Bez horního krytu		X				X				X
S horním krytem (nevratné)		X			(X)				X	

Uzavřené IP 2X	X			(X)				X	
Chráněné proti prachu IP 5X	X	X				X			
Uzavřené nepřímé				X			(X)	X	
S řízenou klimatizací	X	X				X			

3.2.11. Požadavky na energetickou účinnost

Osvětlení musí být navrženo tak, aby splňovalo minimální udržovanou hodnotu osvětlenosti dle ČSN 12 464-1 za současného plnění požadavku užití co nejméně náročné energetické varianty. Energeticky úsporné osvětlovací soustavy může být dosaženo pomocí využití denního světla, reagováním osvětlovací soustavy na přítomnost osob nebo řízením intenzity umělého osvětlení v závislosti na denní složce světla. Množství denního světla v místnostech s bočním osvětlením výrazně klesá se vzdáleností. V evropské normě EN 15193 jsou uvedeny návody na odhady energetické náročnosti osvětlovacích soustav. [4]

3.2.12. Sdružené osvětlení

Sdružené osvětlení je chápáno jako současné použití osvětlení umělého a denního světla. Sdružené osvětlení není možno použít vždy, ale pouze v odůvodněných případech, kdy nelze zajistit dostatečné denní osvětlení. Přínosy denního osvětlení lze chápat jako potenciální zdroj energetických úspor. Umělé osvětlení může být během dne plně nahrazeno denním osvětlením. Úroveň, spektrální složení a směr denního světla jsou parametry, které se mění během dne, tímto se mění rozložení jasů a podání barev, tento jev je vnímán jako přínos pro uživatele vnitřních prostorů. Je také stejně důležité, aby osvětlovací otvory nezpůsobovali tepelnou nepohodu nebo ztrátu soukromí. [4] [11]

Sdružené osvětlení je možno rozdělit do tří pásem:

- Pásmo s vyhovujícím sdruženým osvětlením. V takovýchto prostorech je hodnota činitele denní osvětlenosti v limitu pro daný zrakový úkol, který je hodnocen dle ČSN 73 05 80
- Pásmo, kde je využito sdruženého osvětlení. V tomto prostoru není splněn požadavek na denní osvětlení pro danou zřakovou třídu, ale musí být rovno předepsaným hodnotám.
- Pásmo s umělým osvětlením. Jedná se o tzv. bezokenní prostor. Hodnoty činitele denní osvětlenosti jsou menší než předepsané pro danou zřakovou třídu.

Hodnoty osvětlenosti sdruženého osvětlení jsou dány jakou součet hodnot osvětlení denního a umělého. Přepočet činitele denní osvětlenosti na procenta se provádí pro dvě hladiny osvětlenosti. Minimální hladina je 5000lx. Odpovídá osvětlenosti nezastíněné roviny při rovnoměrně zatažené obloze a 20000lx odpovídá střední hodnotě osvětlenosti během celého roku. Následně tyto hodnoty dosadíme do vztahu, dosadíme činitel denní osvětlenosti dle ČSN 73 05 80 a vypočteme příslušnou hodnotu. $E (lx)$.

$$D = \frac{E}{E_h} \times 100 \quad [\%, lx, lx] \quad (3.2.)$$

3.2.13. Přehled požadavků

Tab. 10 Školská a výchovná zařízení – Školní budovy [4]

Ref. číslo	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	\bar{E}_m lx	UGR_L –	U_o –	R_a –	Specifické požadavky
5.36.1	učebny, konzultační místnosti	300	19	0,6	80	osvětlení má být regulovatelné
5.36.2	učebny pro večerní studium a vzdělávání dospělých	500	19	0,6	80	osvětlení má být regulovatelné
5.36.3	auditoria a posluchárny	500	19	0,6	80	osvětlení má být regulovatelné, aby splňovalo požadavky na prostory pro audiovizuální prezentace
5.36.4	černé, zelené a bílé tabule	500	19	0,7	80	zrcadlové odrazy je nutno zamezit přednášející/učitel musí být osvětlen vhodnou vertikální osvětleností
5.36.5	demonstrační stůl	500	19	0,7	80	v přednáškových sálech 750 lx
5.36.6	místnosti pro výtvarnou výchovu	500	19	0,6	80	
5.36.7	místnosti pro výtvarnou výchovu v uměleckých školách	750	19	0,7	90	5 000 K < T_{CP} 6 500 K.
5.36.8	kreslírny pro technické kreslení	750	16	0,7	80	
5.36.9	místnosti pro praktickou výuku a laboratoře	500	19	0,6	80	
5.36.10	místnosti pro ruční práce	500	19	0,6	80	
5.36.11	učební dílny	500	19	0,6	80	
5.36.12	místnosti pro hudební cvičení	300	19	0,6	80	
5.36.13	počítačové učebny (s volitelným programem)	300	19	0,6	80	práce s displeji viz 4.9
5.36.14	jazykové laboratoře	300	19	0,6	80	
5.36.15	přípravny a dílny	500	22	0,6	80	
5.36.16	vstupní haly	200	22	0,4	80	
5.36.17	komunikační prostory a chodby	100	25	0,4	80	
5.36.18	Schodiště	150	25	0,4	80	
5.36.19	společenské místnosti a shromažďovací haly pro studenty a žáky	200	22	0,4	80	
5.36.20	místnosti vyučujících	300	19	0,6	80	
5.36.21	knihovny: police	200	19	0,6	80	
5.36.22	knihovny: čítárny/místa pro čtení	500	19	0,6	80	
5.36.23	sklady učebních materiálů	100	25	0,4	80	
5.36.24	sportovní haly, tělocvičny, plavecké bazény	300	22	0,6	80	podmínky pro trening viz EN 12193
5.36.25	školní jídelny	200	22	0,4	80	
5.36.26	Kuchyně	500	22	0,6	80	

4. Světelné zdroje používané v interiérech

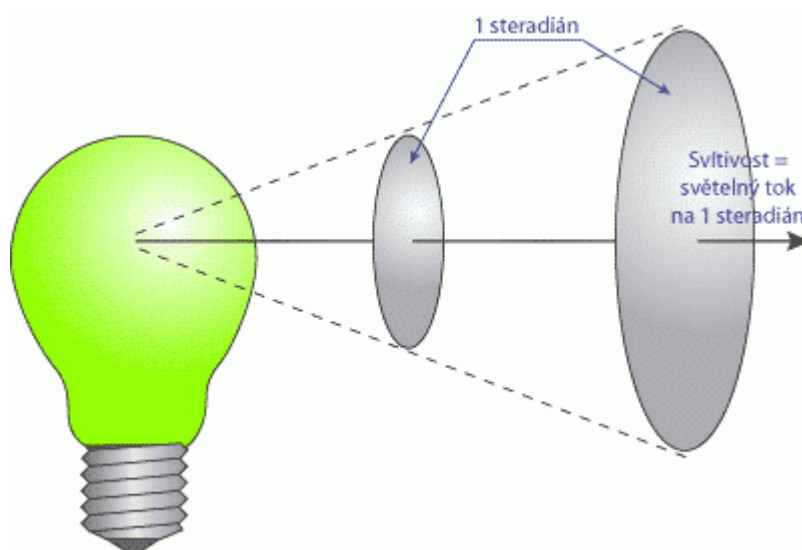
4.1. Základní světelně technické pojmy

4.1.1. Světelný tok [Φ] =lm

Světelný tok značený [Φ]s jednotkou lm (lumen) udává, kolik světla vyzáří světelný zdroj do svého okolí do všech směrů. Jedná se o světelný výkon, který je posuzován lidským okem. [4]

4.1.2. Svítivost

Svítivost je veličina, která udává množství vyzářeného světelného toku do prostorového úhlu Ω v určitém směru. [4] [5]



Obr. 6 Definice svítivosti [20]

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad [cd; lm, sr], \quad (4.1.)$$

přičemž

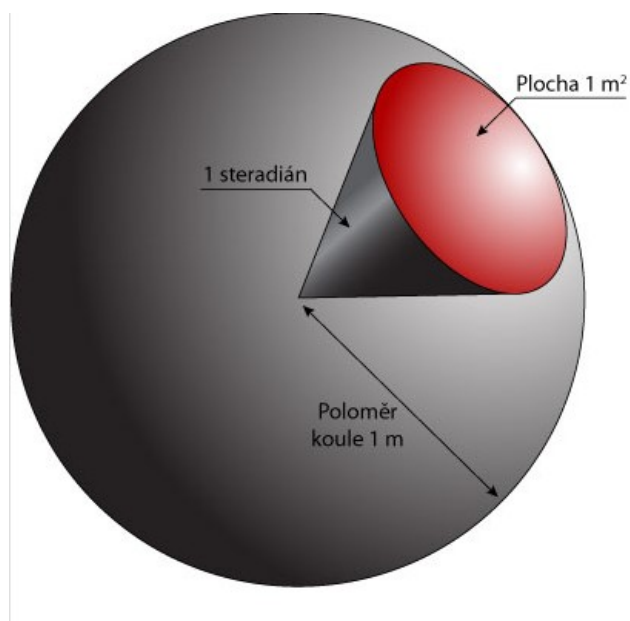
Φ je světelný tok

Ω je prostorový úhel

4.1.3. Prostorový úhel [Ω] =sr

Je definován jako úhel, který je svírán při vrcholu kužele. Velikost tohoto úhlu je definována jako poměr kulové plochy, kterou vyřezává úhel v prostoru kulové plochy o určitém poloměru a druhé mocniny tohoto poloměru. Prostorový úhel 1 steradián je právě takový prostorový úhel, při kterém platí, že poloměr koule má právě 1m a plocha je 1m². [4] [5]

$$\Omega = \frac{A}{r^2}. \quad (4.2.)$$



Obr. 7 Definice steradiánu [20]

4.1.4. Osvětlenost

Osvětlenost, nebo-li intenzita osvětlení udává, kolik světelného toku dopadá na definovanou plochu. Osvětlenost 1lx je právě taková, kdy dopadá 1lm na podlahovou plochu o ploše 1m².

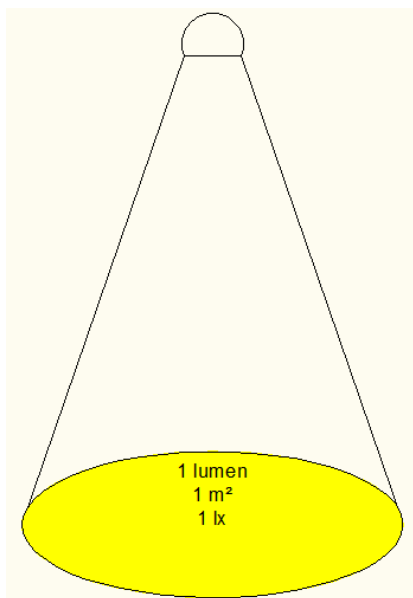
$$E = \frac{\Phi}{A} \quad [lx; lm, m^2], \quad (4.3.)$$

přičemž

Φ je světelný tok

A je osvětlená plocha

[4] [5]



Obr. 8 Definice osvětlenosti

4.1.5. Světlení

Jedná se o fotometrickou veličinu, která je definována jako měrná veličina světelného toku na povrchu zdroje.

$$H = \frac{\Phi_v}{A_v} \quad [lm \cdot m^{-2}; lm, m^2] \quad (4.4.)$$

Přičemž

Φ_v je světelný tok

A_v je plocha, ze které světelný tok vyzařuje [4] [5]

4.1.6. Jas

Jedná se o měrnou svítivost, je veličinou pro vjem zrakového orgánu o světlosti svítícího nebo osvětlovaného předmětu.

$$L = I/S_p \quad [cd \cdot m^{-2}; cd, m^2] \quad (4.5.)$$

Přičemž

I je svítivost

S_p je viděná svítící plocha [4] [5]

4.1.7. Měrný výkon

Tato veličina udává s jakou účinností je přeměňována elektrická energie na světlo. Tzn. Kolik světelného toku (lm) získáme z 1 wattu (W).

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad [lm \cdot W^{-1}; lm, W], \quad (4.6.)$$

přičemž

Φ je světelný tok

P je elektrický příkon

U světelných zdrojů, které jsou provozovány bez elektrických předřadníků, je výkon zdroje shodný s příkonem svítidla. Je-li nutno pro světelný zdroj použití předřadníku, pak je zapotřebí k příkonu světelného zdroje přičíst příkon, který pokrývá ztráty v předřadníku. [10] [5]

4.1.8. Život světelného zdroje

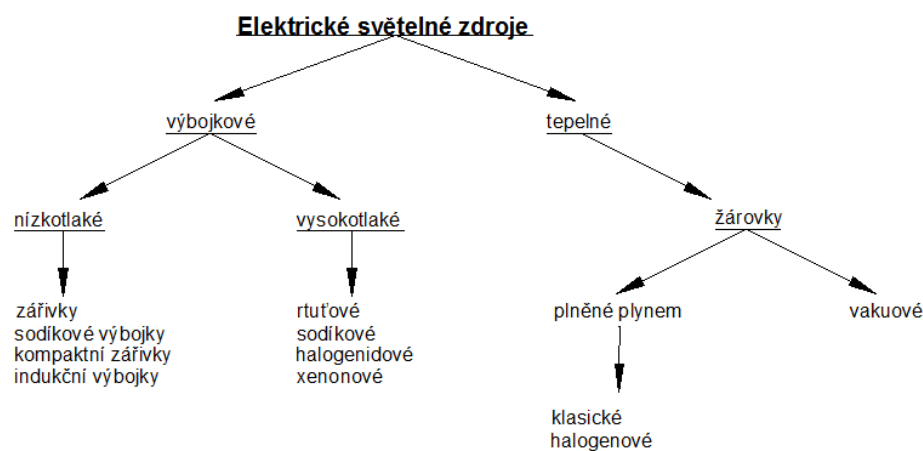
V průběhu života světelného zdroje dochází k změnám jeho parametrů. Obvykle je tento údaj vyjádřen v hodinách. Život světelného zdroje může být definován jako čas, po který světelný zdroj splňuje stanovené parametry. Ve spojitosti s tímto údajem používáme také pojmy fyzický život a užitečný život.

Užitečný život je doba, během které si světelný zdroj zachovává své parametry v určitých mezích. Pro Žárovkové světelné zdroje je tato hodnota vymezena poklesem světelného toku o 30%.

Fyzikální život je doba, po kterou je provozovaný světelný zdroj schopný funkčnosti. U klasických žárovek je definován do doby přepálení vlákna, u výbojových světelných zdrojů do doby ztráty schopnosti zapálit výboj. [10]

4.2. Světelné zdroje

Základní rozdělení světelných zdrojů



Obr. 9 Schéma základního rozdělení světelných zdrojů

4.2.1. Teplotní světelné zdroje

4.2.1.1. Klasické žárovky



Žárovky patří mezi průkopníky mezi světelnými zdroji, které využívají základní technologii výroby světla. Tato technologie je stará více než 100 let. Princip spočívá ve vyčerpání baňky žárovky na vysoké vakuum, ve které je vloženo wolframové vlákno. Toto vlákno je protékáno proudem. Průtok proudu wolframovým vláknem způsobuje jeho zahřátí. Vlákno zahřáté na vysokou teplotu vyzařuje elektromagnetické vlnění v části viditelného spektra. Dnešní typ žárovek používá spirálové vlákno. Tento způsob spirálového vlákna redukuje tepelné ztráty a má vyšší účinnost. Baňky jsou vyčerpány na vysoké vakuum, které chrání žhavé vlákno před přísunem kyslíku a s tím spojené hoření vlákna. Současné žárovky jsou plněny inertními plyny, které plní stejnou

Obr. 10 Klasická žárovka [19] funkci jako vakuum. Měrný výkon žárovek dnes dosahuje přibližně 10 lm.W^{-1} . Vyrůstá-li teplota vlákna, vyrůstá také teplota chromatičnosti světla. Životnost žárovek se stále prodlužuje dokonalejšími technologiemi vinutí vlákna a plněním inertními plyny. Životnost dnešních žárovek je uváděna na hodnotu 1000h. Stmívání klasických žárovkových zdrojů lze provádět pomocí jednoduchých nenákladných stmívacích zařízení. Díky vysokému indexu barevného podání a nízké teplotě chromatičnosti dosahujeme nejdokonalější barevné podání lidské kůži. Tyto zdroje jsou zejména v domácnostech ale i ve společných prostorech hojně zastoupené pro své výjimečné vlastnosti. Jsou vyráběny v různých tvarech, výkonech a dodávají interiéřům jedinečnou atmosféru. [10]

4.2.1.2. Halogenové žárovky



Halogenové žárovky mají až o 20% vyšší účinnost než žárovky standardní. U klasických žárovek se wolfram vypařuje a usazuje se na povrchu baňky. Tento jev má za následek snižování světelného toku, odpařování wolframu způsobuje ztenčování vlákna, až dojde k jeho přepálení. Halogenový plyn uvnitř baňky má za následek, že vypařený wolfram se vlivem tepelného pole vrací zpět, kde dochází k usazování na vlákno žárovky. Tímto jevem je prodloužena životnost žárovky a současně

Obr. 11 Halogenová žárovka [17] [18]

nedochází ke snižování světelného toku žárovky. Tento tzv. kruhový proces je hlavní předností halogenových žárovek. Halogenové žárovky poskytují bílé světlo s teplotou chromatičnosti až 3200K. Index podání barev je stejný jako u klasických žárovek $R_a = 100$. Životnost halogenových žárovek je přibližně dvojnásobná, výrobci udávají až 2000h. Měrný výkon dosahuje hodnot 22lm/W. Halogenové žárovky jsou vyráběny v poměrně široké škále wattáží, s různými vyzařovacími úhly, na nízké napětí ale i na 230V. [10]

4.2.2. Výbojové světelné zdroje

4.2.2.1. Zářivky



Obr. 12 Lineární zářivka T5 [16]

Zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky, které vyzařují především v ultrafialové oblasti elektromagnetického vlnění. Toto záření je následně pomocí luminoforu transformováno na viditelné světlo. Ve skleněné trubici pomocí elektrického pole jsou mezi elektrodami vybuzené páry rtuti k emisím ultrafialového záření. Vnitřní strana trubice je pokryta speciální látkou tzv. luminoforem, který transformuje ultrafialové záření na viditelné světlo. Správnou volbou složení luminoforu můžeme docílit různých barevných tónů světla. Každá výbojka potřebuje ke své činnosti předřadné přístroje. Pro provoz se startérem je napětí na zářivce nižší než napětí napájecí.

Tlumivka slouží k tomu, aby převzala rozdíl napětí a omezila proud tak, aby zářivka dostávala pro svůj provoz optimální hodnotu proudu. Provoz pomocí tlumivky a startéru je již v dnešní době zastaralý a neekonomický, proto se dnes používají pro optimální provoz elektronické předřadníky. Elektronické vysokofrekvenční přístroje plně nahrazují konvekční předřadníky a startéry. Tato technologie zaručuje ještě větší hospodárnost a delší dobu životnosti. Dnešní zářivky T5 mají průměr trubice pouhých 16mm, jsou určeny výhradně pro provoz s elektronickými předřadnými systémy. Dosahují měrného výkonu až 106 lm.W^{-1} . Oproti dříve používaným trubicím T8 dosahujeme úspory až 20%. Životnost je značně ovlivněna počtem sepnutí, proto je nutno tyto zdroje navrhovat v místech kde k tomuto jevu nedochází. Životnost lineárních zářivek dosahuje například pro trubicí OSRAM HO XT/830 až 45000h. Index barevného podání přesahuje hranici $R_a = 80$, což je dostačující barevné podání pro téměř všechna využití. Nevýhodou zářivek je nutnost použití startéru a tlumivky, nebo elektronického předřadníku. Jmenovitého světelného toku nedosáhneme okamžitě po sepnutí obvodu jako u klasických nebo halogenových žárovek, ale až po uplynutí cca 3 minut. Zářivky nejsou vhodné pro osvětlování venkovního prostředí kvůli své závislosti na okolní teplotě. U osvětlovacích soustav, které jsou vybaveny konvekčním předřadným systémem, hrozí vznik stroboskopického jevu, kterého je nutno se vyvarovat. Nabízejí se možnost rozfázování svítidel, do všech tří fází

anebo u dvoutrubicových svítidel použít kondenzátor pro posunutí fáze, která napájí jedu z dvojice lineárních zářivek. [10]

4.2.2.2. Kompaktní zářivky



Princip funkce je naprosto shodný s principem lineární zářivky. Díky rozdělení na několik malých trubiček bylo umožněno zmenšit velikost kompaktních zářivek na velikost klasické žárovky. Veškeré kompaktní zářivky dosahují úspory až 80% elektrické energie a až 10 krát delší životnost oproti standardním žárovkám. Předřadníky jsou používány jako součást výrobku nebo jako externí [10]

Obr. 13 Kompaktní zářivka

4.2.2.3. Indukční výbojky



Obr. 14 Induktivní výbojka [15]

Indukční výbojky jsou zcela odlišnou kategorií světelných zdrojů. V těchto světelných zdrojích je výboj buzen vysokofrekvenčním polem. V prostorech ve kterých probíhá výboj, nejsou přítomny elektrody, toto vede ke zjednodušení výroby a současně umožňuje zlepšení provozních parametrů, protože výbojka obsahuje méně konstrukčních prvků, které se mohou

dostat do kontaktu s vnitřní náplní. Do skleněné baňky, která je z jedné strany zatavena, se vkládá feritové jádro s cívkou, která je napájena proudem o frekvenci 2,65MHz. V baňce nejsou žádné elektrody a obsahuje pouze inertní plyn a páry rtuti. Vybudíme-li atomy rtuti vysokofrekvenčním polem, začnou vyzařovat ultrafialové záření, které je luminoforem přeměněno na viditelné světlo. Díky konstrukci, která neobsahuje elektrody, dosahují tyto světelné zdroje vysoké životnosti v řádech 60000h. Během životnosti je zachována dobrá stabilita světelného toku. V současnosti jsou výbojky vyráběny. Účinnost dosahuje až 80 lm.W⁻¹. Výhodou krátká doba náběhu a znovu zápalu cca 0,5 s. Životnost světelných zdrojů je 80 000 až 100 000h. [10]

4.2.2.4. Halogenidové výbojky



Obr. 15 Halogenidová výbojka [14]

V tomto typu světelného zdroje vzniká světlo v parách rtuti ale především v záření produktů halogenidů (sloučenina halových prvků s galiem, thaliem sodíkem atd.) Toto spojení vyzařování má za následek navýšen hodnoty indexu barevného podání až na hodnotu $R_a = 90$ a současně měrný výkon na 130 lm.W^{-1} . Pro provoz halogenidové výbojky je nutno použít zapalovač. Tento zapalovač k zapálení výboje používá vysokonapěťový impuls $4,5 \text{ kV}$. Jmenovitého světelného toku dosahuje halogenidová výbojka přibližně po 10-ti minutách provozu. Halogenidové výbojky se začínají prosazovat v prostorech, kde je velký požadavek na podání barev například kinematografie nebo sportoviště, kde je předpokládán televizní přenos. Syto světelné zdroje

dosahují relativně malých rozměrů při dosažení velkých příkonů. Životnost dosahuje až 15000 hodin. S ohledem na náročnou technologii je cena přibližně čtyřnásobná oproti sodíkovým výbojkám. Tento fakt vyvrací možnost masového užití pro veřejné osvětlení. Často se však používají v architektonickém nesvětlování objektů. Tyto zdroje světla však mají nevýhody, které brání v možnosti širšího využití:

- Nelze stmívat
- Vysoké pořizovací náklady
- Okamžitý znovuzápal je nemožný
- Pomalý náběh na plný světelný tok
- Kratší doba života než u zářivek
-

[10]

4.2.3. LED

4.2.3.1. Světelné diody



Obr. 16 LED dioda CREE XT-E[13]

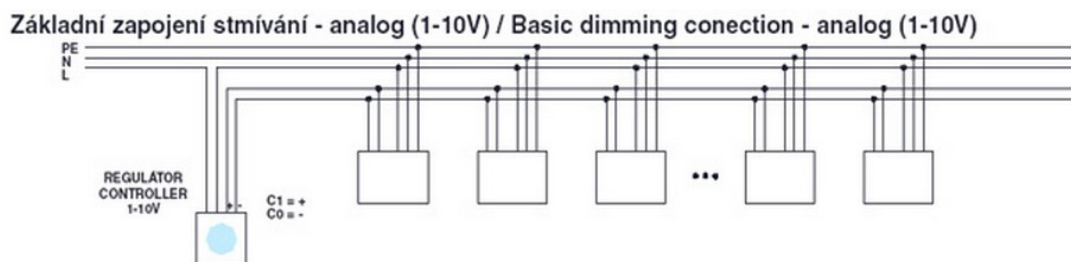
LED diody (light emitting diode) se v posledních letech stále více prosazují. Dříve se LED diody používali především k indikaci provozních stavů. Mezi světelné zdroje se zařadila až v posledním desetiletí. Jedná se o elektronický prvek, který při průchodu proudu polovodičovým přechodem generuje světelné záření ve velmi úzkém spektru. Toto záření lze považovat za monochromatické. Bílého světla lze dosáhnout několika možnostmi. Složením

tří čipů s různými barvami (červená, modrá a zelená) druhou možností je použití modrého čipu, který je pokryt vrstvou aktivní hmoty. Tato aktivní hmota přemění modré záření na jiné vlnové délky v oblasti viditelného spektra. Životnost barevných LED dosahuje až 100 000 hodin, pro bílou LED tato hodnota klesá na 50000h. Tyto hodnoty zajišťují, že u svítidel s LED zdroji se téměř nepočítá s výměnou světelného zdroje po celou dobu provozu. Diody se vyznačují minimální náročností na elektrickou energii a minimálními rozměry. Mezi další výrazné výhody patří snadné stmívání a možnost častého spínání, které nemá vliv na životnost. Všechny předpoklady směřují k tomu, že LED budou v budoucnu používány ve všeobecném osvětlování. Rychlost nástupu bude záviset na možnostech zvyšování měrného výkonu a snižování výrobních nákladů. [10]

5. Řízení osvětlení

5.1. Analogové řízení osvětlení

Elektronické předřadné přístroje řízení analogově jsou ovládány úrovní napětí na řídicím vstupu. Řídicí napětí je přiváděno dvou vodičovým vedením. Nevýhodou jsou úbytky napětí, které vznikají při delším vedení a s tím spojená problematika u vzdálenějších svítidel, které nemusí mít shodnou úroveň vstupního řídicího signálu, jako svítidla na počátku. Díky rozdílu napětí na řídicím vstupu není splněna podmínka nastavení všech elektronických předřadných přístrojů na stejnou úroveň. [21]



Obr. 17 Základní zapojení analogového stmívání 1-10V [28]

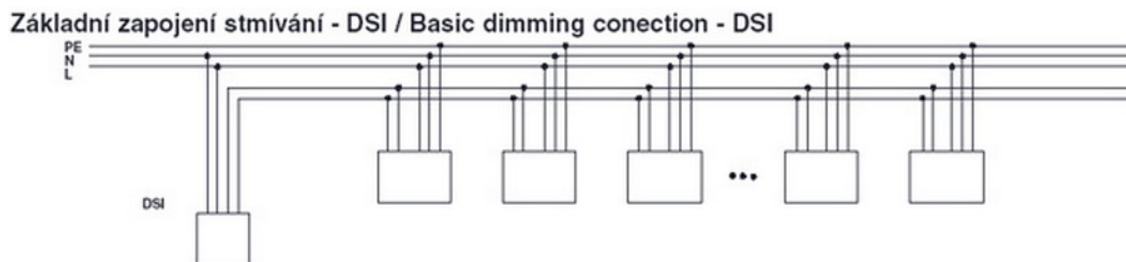
5.2. Digitální řízení osvětlení

Dalším zaběhnutým standardem v řízení osvětlení je digitální řízení osvětlovacích soustav. Starší rozhraní, které používá především firma Tridonic je DSI nebo novější platformu DALI. Výhodou obou těchto standardů oproti analogovému řízení je větší odolnost proti rušivým vlivům, zpětná vazba nefunkčních zařízení a parametrů osvětlovací soustavy.

Standard DALI také umožňuje předprogramovat světelné scény a uložit je do paměti přístroje. Komunikace mezi řídicí jednotkou ovladači a elektronickými předřadníky probíhá po sběrnici pomocí digitálního telegramu. Při digitálním řízení osvětlovacích soustav nevzniká úbytek napětí na řídicím signálu a je tedy vyloučeno nastavení elektronických předřadných přístrojů na odlišnou hodnotu.

DSI- Digital Seriál Interface

V systému řízení DSI se předvádí signály vstupních zařízení na digitální data, která jsou směrována k jednotlivým elektronickým předřadným přístrojům. Protože jsou veškeré předřadníky řízené digitálně, nevzniká odlišnost v nastavení jednotlivých svítidel v řízené soustavě. V digitálním systému řízení jsou jednotlivým hodnotám stmívání přiřazeny jednotlivé hodnoty intenzity osvětlení. Díky tomuto nastavení je stmívání vnímáno lidským okem jako lineární. [21]

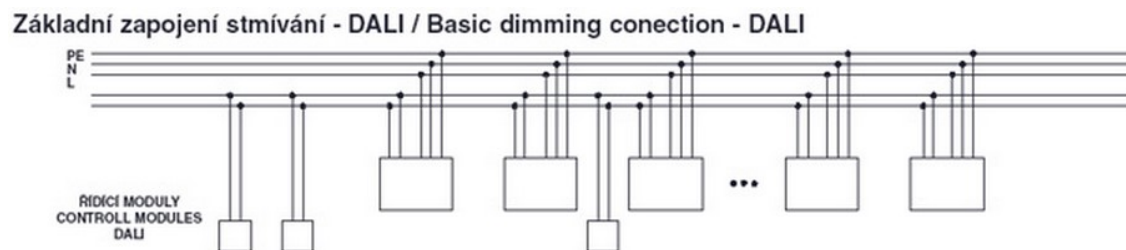


Obr. 18 Základní zapojení stmívání DSI [28]

DALI- Digital Addressable Lighting Interface

Protokol DALI, byl vyvinut mezinárodní elektrotechnickou komisí (IEC). Ovládání pomocí analogových rozhraní jako je 1-10V neumožňuje flexibilitu ani možnosti řízení jednotlivých svítidel v osvětlovací soustavě. Z těchto důvodů byl vyvinut systém, který umožňuje digitální komunikaci po sběrnici mezi všemi prvky. Systém řízení osvětlení pomocí DALI, je možné integrovat do nadřazených systémů řízení budov. DALI je mezinárodní systém, který umožňuje slučovat komponenty různých výrobců a zaručuje jejich vzájemnou kompatibilitu. Parametry systému DALI jsou zakomponovány v IEC 660929 v příloze E. Zde jsou specifikovány parametry přenosu a jednotlivé příkazy řízených prvků a jejich odpověď. Každý prvek, který je připojen na sběrnici lze jednoduše ovládat, protože všechny prvky na sběrnici mají svou předepsanou jedinečnou adresu.

Systém DALI byl navržen pro 64 jednotlivých adres na jedné sběrnici, maximálně 16 skupinových adres a maximálně 16 světelných scén. DALI sběrnice je omezena délkou vedení maximálně 300m nebo pokles napětí nesmí být vyšší než 2V [21]



Obr. 19 Základní zapojení stmívání DALI [28]

5.3. Inteligentní řídicí systémy

Princip funkce inteligentních řídicích systému se v podstatě neliší od jiných automatizovaných systémů řízení. Tak jako v jiných automatizovaných systémech, řízení spočívá ve vyhodnocení okamžitého stavu, tento stav je předán řídicímu členu, který porovná aktuální hodnotu s přednastavenými parametry a následně provede regulaci nebo informuje obsluhu o provozním stavu. Objekty, které jsou vybaveny těmito systémy, jsou nazývány jako „inteligentní budovy“. Komunikace mezi všemi členy soustavy je provozována na základě komunikační sběrnice BUS, která je většinou tvořena párem vodičů. Na tuto sběrnici jsou paralelně připojeny komponenty,

které si vzájemně vyměňují informace o aktuálním stavu řízené soustavy. Veškeré přístroje lze rozdělit do tří základních skupin:

Senzory – Tyto přístroje sledují změny a vysílají informace o stavu pozorovaných veličin. Dojde-li ke změně, pak senzor dává podnět řídicí jednotce k provedení změny nastavení systému. Do této skupiny lze řadit:-

- Tlačítkové spínače
- Senzory osvětlení
- Senzory pohybu
- Binární vstupy
- IR přijímače
- Termostaty
- Požární hlásiče

Akční členy – tyto přístroje mají za úkol provést změnu nastavení parametru soustavy tak, aby regulovaná veličina dosáhla opět předdefinovaných parametrů. Jako příklad můžeme použít stmívač, který při rozjasnění oblohy sníží intenzitu umělého světla tak, aby hodnota osvětlenosti v regulovaném prostoru byla stále konstantní.

Systémové přístroje – do této kategorie jsou zařazeny přístroje, bez nichž by nefungovala komunikace po sběrnici. Například napájecí člen, vazební členy, rozhraní pro připojení PC. Tyto přístroje zajišťují funkčnost celého systému a vytváření jeho infrastrukturu. [21]

5.3.1. Senzory

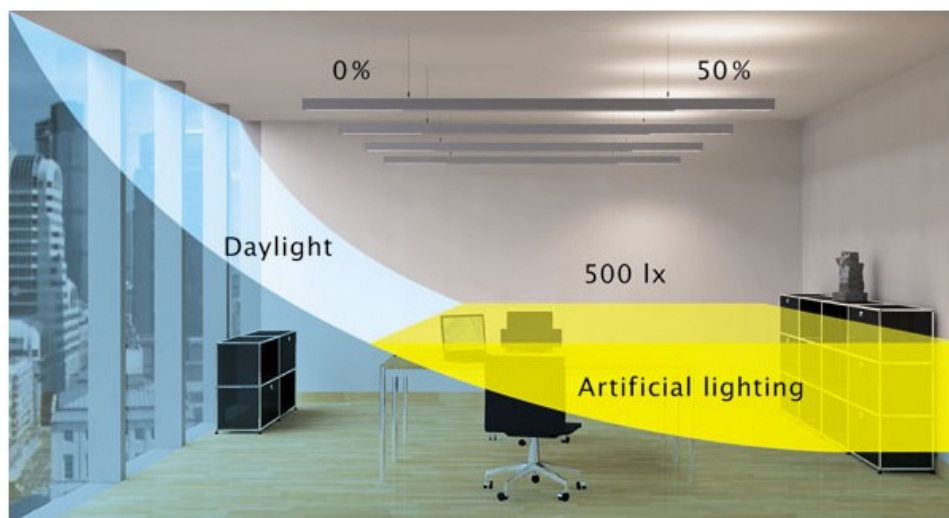
Tzv. inteligentní řídicí systémy využívají k dosažení maximálních úspor především světelné senzory, které slouží k regulaci umělého osvětlení. Tyto senzory snímají například intenzitu denního světla. Tato informace je zpracována řídicí jednotkou a ten pak nastaví velikost regulace. [21]

5.3.1.1. Světelné senzory



Pro snímání intenzity osvětlení je nejčastěji použita fotodioda nebo fototranzistor. Některé druhy senzorů jsou schopny ovládat přímo stmívatelné elektronické předřadníky. Referenční hodnota se nejčastěji nastavuje přímo na senzoru nebo například pomocí tlačítka ve verzi TOUCH DIM od firmy OSRAM. Jedná se o nejjednodušší možnost regulace osvětlení. [21]

Obr. 20 Senzor LSLI firmy OSRAM [22]



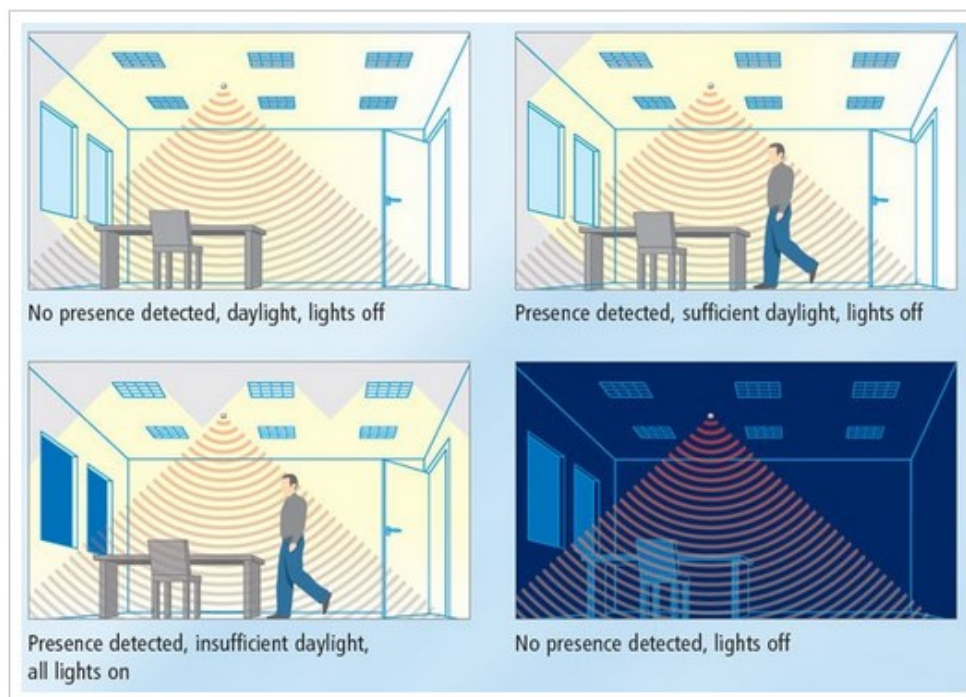
Obr. 21 Princip punkce světelného senzoru [23]

Daylight / denní osvětlení

Artificial lighting/ umělé osvětlení

5.3.1.2. Kombinované senzory

Tento typ senzorů je kombinací světelného senzoru, který řídí osvětlení na základě intenzity denního světla a presenčního detektoru, který spíná osvětlení na základě přítomnosti osob v daném prostoru. Presenční detektor nevypíná svítidla úplně, pouze sníží intenzitu na minimální hodnotu tak, aby v prostoru nevznikala tmavá místa. Není-li v místnosti žádný uživatel, dojde po uplynutí stanoveného času k úplnému vypnutí osvětlovací soustavy. [21]



Obr. 22 Princip funkce kombinovaného senzoru [24]

No presence detected, daylight, lights off/bez pohybu, dostatek denního světla, svítidla vypnuta

Presence detected, sufficient daylight, lights off/ přítomnost osob, dostatek denního světla, svítidla vypnuta

Presence detected, insufficient daylight, all lights on/ přítomnost osob, nedostatek denního světla, svítidla zapnuta

No presence detected, lights off/ bez pohybu osob svítidla vypnuta

5.4. DALI vs. 1-10V

1-10V

- Galvanické oddělení
- Dvou vodičové vedení
- Stmívání v rozsahu 1-100%
- Stmívání a přepínání svítidel jsou dvě odlišné funkce
- Velké úbytky napětí

DALI

- Galvanické oddělení
- Dvou vodičové vedení
- Rozsah stmívání 1-100%
- Zpětné hlášení provozního stavu
- Individuální a skupinové vysílací adresy
- Možnost uložení světelných scén
- Možnost napojení na správu budov
- Variabilita systému
- Snadné rozšiřování

[21]

6. Modelová místnost

Laboratorní místnost se nachází na ulici Otakara Jeremiáše v Ostravě. Jedná se o prostory VŠB konkrétně pak fakulty stavební.



Obr. 23 Umístění měřené laboratoře [25]

Místnost je nyní vybraná pro testování moderních řídicích systémů a možností ověření energetických úspor. Systém osvětlení je řízen, na základě protokolu DALI, na konstantní hladinu osvětlení.

Pro porovnání výpočetních programů byly vybrány DIALUX, RELUX a WILS. Tyto programy jsou nejpoužívanější na českém trhu. Pro stanovení energetických úspor je důležité nejprve vymodelovat požadovanou místnost, spočítat denní osvětlení a následně vytvořit požadovanou osvětlovací soustavu, která bude splňovat podmínky ČSN-EN 12464-1. Poté je možno pomocí programů získat výpočet energetické náročnosti dané osvětlovací soustavy.

7. Světelně technické výpočty

V následujících bodech lze srovnat požadavky a výsledky programů v hodnotách činitele denní osvětlenosti a hodnot umělého osvětlení. Tyto parametry jsou důležité jako vstupní hodnoty pro výpočet energetických úspor.

7.1. Výpočty denního osvětlení

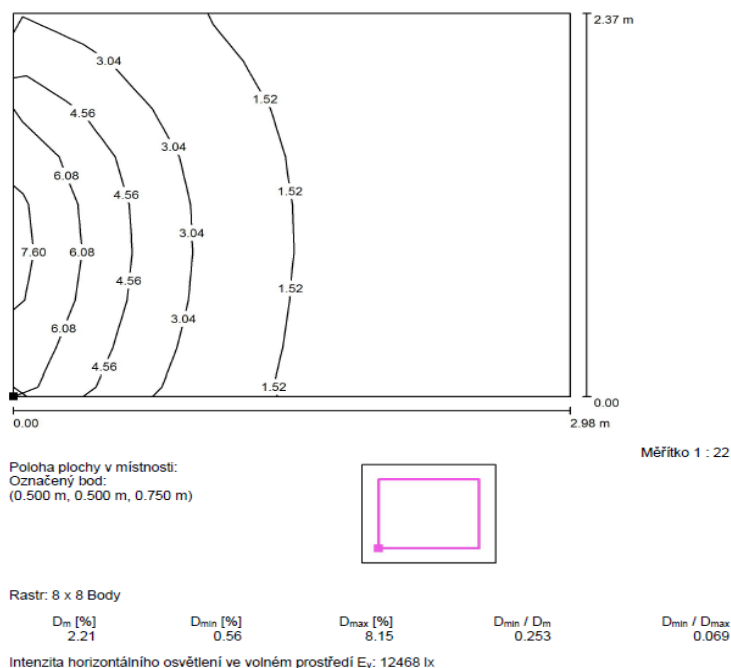
Správně navržené denní osvětlení je důležitou součástí energetických úspor. Ve fázi projektu je proto s touto skutečností nutno uvažovat, jinak je tomu u rekonstrukcí objektů, kde nelze zásadně okenní otvory měnit. Pro výpočet vzorové místnosti jsou vzaty rozměry 3975 x 3372 x 2300 mm (D,Š,V). V místnosti jsou umístěny dva okenní otvory o rozměrech 1100x850mm, výška parapetu 810mm. Tyto okenní otvory jsou opatřeny dvojitým vakuovým zasklením, propustnost skel v okenních rámech je 84% (je uvažováno vakuové dvojsklo tudíž propustnost jednoho skla je 92% dle ČSN), výška výpočtové plochy je 0,85m nad úrovní podlahy.

Odrážnosti povrchů jsou převzaty normativní: 70/50/20

Místnost je zatříděna dle ČSN 73 05 80 do IV zrakové skupiny (Středně přesná výroba a kontrola, čtení, psaní, obsluha strojů, běžné laboratorní práce, vyšetření, ošetření, hrubší šití, pletení, žehlení). Minimální hodnota činitele denní osvětlenosti musí tedy dosahovat hodnoty 1,5. Nebude-li dosaženo požadované hodnoty je možné rozdělit místnost na funkčně vymezené části, které jsou ohraničeny právě izofotou o hodnotě 1,5.

7.1.1. Výsledky výpočtu denního osvětlení pomocí programu DIALux verze 4.12

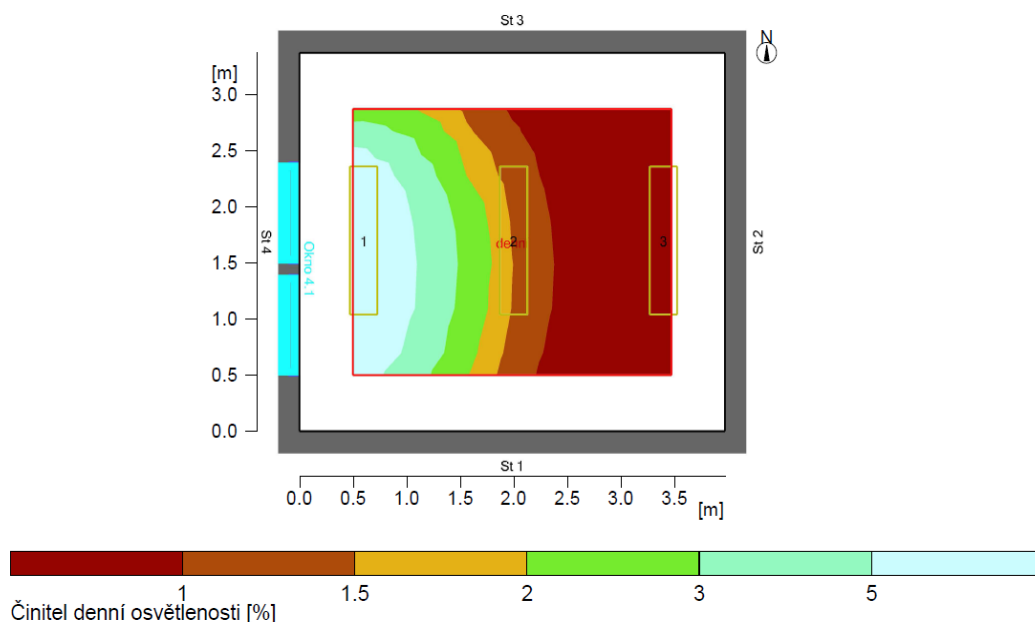
Z následujících obrázků jsou patrné parametry denního osvětlení v kontrolní místnosti. Výstup je zpracován pomocí výpočetního programu DIALux, který věrně napomáhá k simulaci. Na obrázku jsou znázorněny izofoty. Hranice izofoty s hodnotou 1,5 určuje prostor, který může být využíván k trvalému pobytu osob. Tedy pracovní místo v kanceláři by mělo být umístěno v prostoru, kde dosahuje činitel denní osvětlenosti hodnoty minimálně 1,5.



Obr. 24 Výpočet činitele denní osvětlenosti pomocí programu DIALux

7.1.2. Výsledky výpočtu denního osvětlení pomocí programu RELUX 2014.1.1.2

V tomto případě vidíme výpočet činitele denní osvětlenosti v programu RELUX, který stejně jako předchozí program podává výsledky ve formátu izofot. Opět izofota s hodnotou 1,5 udává hranici prostoru, ve kterém je možný trvalý pobyt. Nastane-li situace, že v místnosti dosahuje činitel denní osvětlenosti i menší hodnoty než 1,5 je potřeba prostor rozdělit na funkčně vymezené části. Správně navržené denní osvětlení lze považovat za stěžejní v energetických úsporách, protože správně navržené denní osvětlení nahrazuje osvětlení umělé a je potřeba uvažovat i s možností vytápěním či chlazením prostoru v závislosti na prosklené ploše.



Činitel denní osvětlenosti:

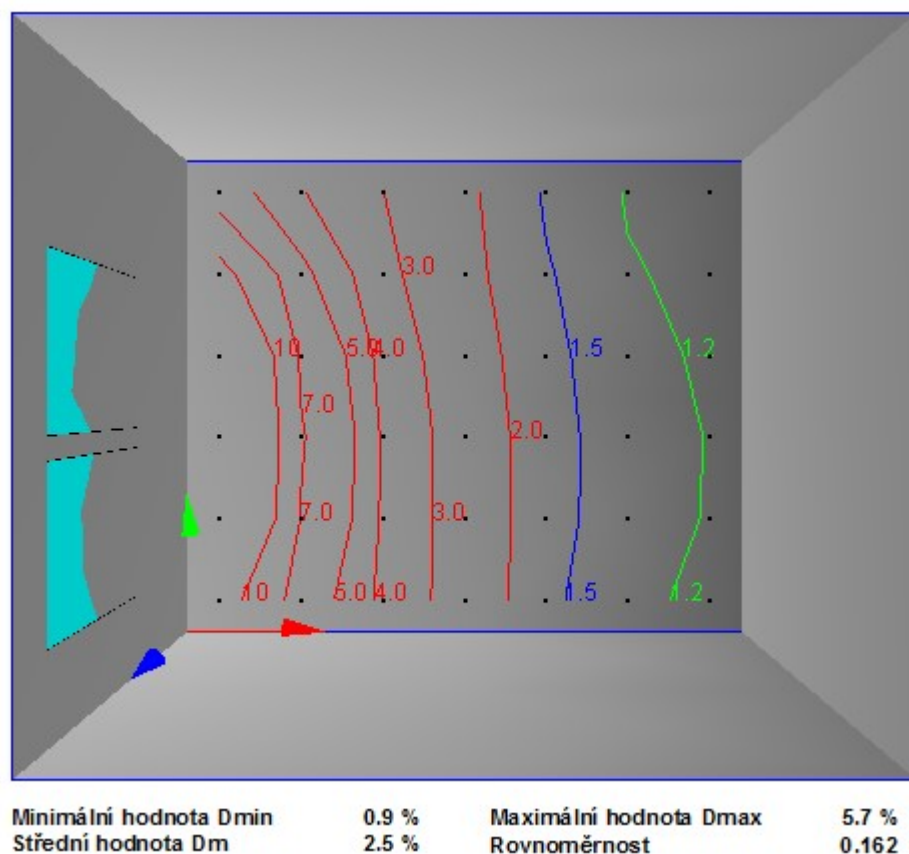
Průměrný činitel denní osvětlenosti	Dav	: 2.29
Minimální činitel denní osvětlenosti	Dmin	: 0.4
Maximální činitel denní osvětlenosti	Dmax	: 8.39

Obr. 25 Výpočet činitele denní osvětlenosti pomocí programu RELUX

7.1.3. Výsledky výpočtu denního osvětlení pomocí programu WDLS 4.1.

Jako třetí výpočetní program pro porovnání parametrů energetické náročnosti a výpočtu úspor byl vybrán software WDLS a WILS. Jedná se o české programy společnosti Astra MS Software. Pomocí programu WDLS nejprve vypočteme parametry denního osvětlení a následně tento soubor importujeme i s vypočtenými parametry denního osvětlení do softwaru WILS, který souží pro výpočet a návrh umělého osvětlení a výpočet energetických úspor. Obdobně

jako u předchozích výpočtů v programu DIALux a Relux je rovněž vyznačena izofotou o hodnotě 1,5 hranice intenzity denního osvětlení pro trvalý pobyt osob.



Obr. 26 Výpočet činitele denní osvětlenosti pomocí programu WDLS

7.1.4. Porovnání výsledků výpočtů denního osvětlení z programů DIALux, RELUX, Wdls

Výsledky denního osvětlení pro vzorovou místnost ve všech výpočtových programech vychází téměř shodně. Mírné odchylky však jsou, zejména pak ve výpočetním programu WDLS, který se liš více od programu Relux a DIALux.

Tab. 11 Výsledky výpočtů denního osvětlení

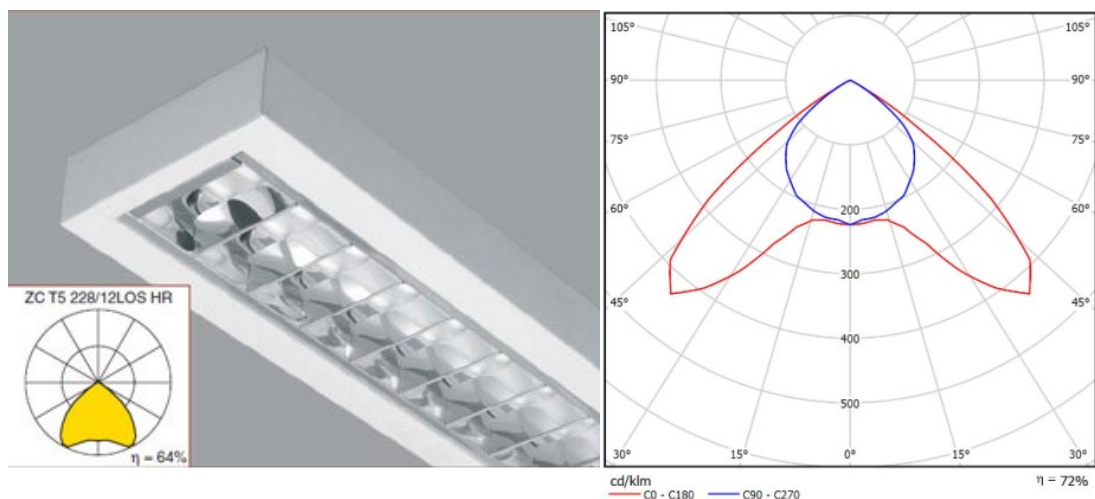
Výpočetní program	D_{\min} [%]	D_m [%]	D_{\max} [%]	D_{\max}/D_{\min} [-]
DIALUX	0,56	2,21	8,15	0,07
RELUX	0,4	2,29	8,39	0,05
WDLS	0,9	2,5	5,7	0,162

Rozdíly ve vypočtených hodnotách jsou zřejmě zaviněny odlišnou výpočtovou sítí, kdy polohy výpočtových bodů nejsou stejné. Tato příčina může být důvodem pro odlišné hodnoty. Dále pak ve výpočetních programech DIALux a RELUX je výpočtová plocha nastavena ve vzdálenosti 0,5m od obvodových stěn na rozdíl od programu WDLS, kde lze přednastavit pouze vzdálenost 1metr.

7.2. Výpočty umělého osvětlení

Umělé osvětlení musí být navrženo tak, aby byly splněny podmínky ČSN EN 12 464-1. Výpočtová místnost je zařazena pod referenční číslo 5.26.2. (psaní, psaní na stroji, čtení, zpracování dat). Osvětlenost minimálně 500 lx a rovnoměrnost osvětlení min 0,6. Rozměry místnosti, okenních otvorů, odraznosti povrchů a výška srovnávací roviny zůstává shodná s výpočtem pro denní osvětlení. V modelované místnosti jsou použita tři svítidla s Al mřížkou firmy ElkovoČepelík

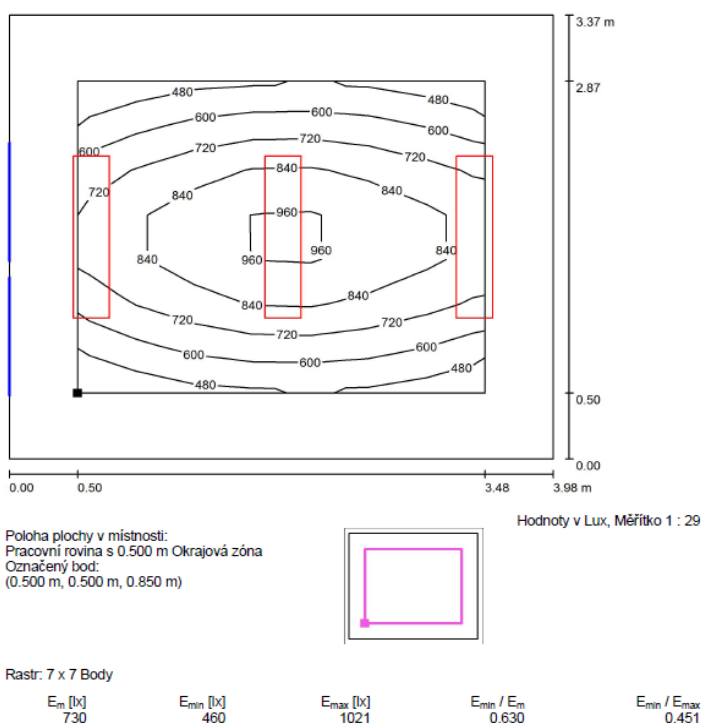
3x Elkovo Čepelík ZC T5 228/12LOS ZK 2x28W T5, přisaz. zkosené, optický systém



Obr. 27 Elkovo Čepelík ZC T5 228/12LOS ZK 2x28W T5 [26]

7.2.1. Výsledky výpočtu denního osvětlení pomocí programu DIALux 4.12.

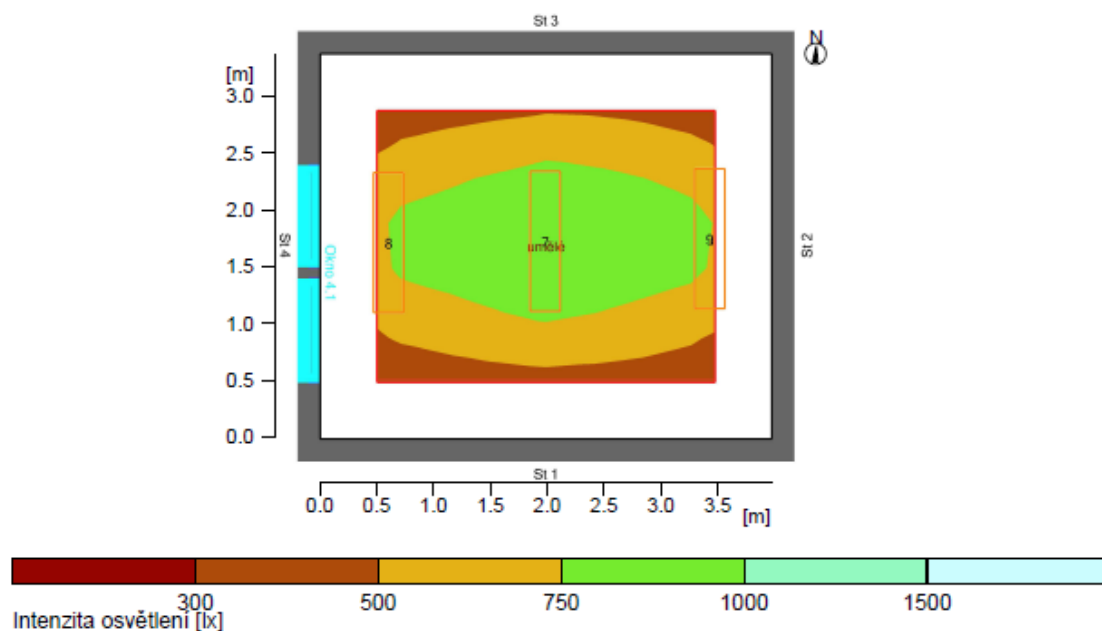
Pro výpočet umělého osvětlení jsou zvoleny opět tři softwary, pomocí kterých je namodelováno umělé osvětlení v modelové místnosti. Do výpočtu jsou vložena LDT data, které nesou parametry a křivku svítivosti použitého svítidla. Parametry místnosti jsou nastaveny shodně jako při výpočtu denního osvětlení. Místnost je mírně přesvětlena, jedná se však již o ověření skutečného stavu. Jako optimálnější řešení bych viděl použít vyšší wattáž s menším počtem trubic. Svítidla by byla delší a výsledkem by byla lepší rovnoměrnost osvětlení a nižší osvětlenost.



Obr. 28 Výpočet umělého osvětlení pomocí programu DIALux

7.2.2. Výsledky výpočtu denního osvětlení pomocí programu RELUX 2014.1.1.2

V softwaru RELUX dochází k obdobným výsledkům jako V DIALuxu. Rozdíly jsou způsobeny zřejmě nepřesností rozmístění výpočtových bodů v místnosti, umístěním okenních otvorů, atd.



Obecně

Použitý algoritmus výpočtu

Výška roviny svítidel

Udržovací činitel

centrální podíl nepřímé složky

2.30 m

0.80

Celkový světelný tok všech zdrojů

Celkový výkon

Celkový výkon na ploše (13.40 m²)

15600 lm

168.0 W

12.53 W/m² (1.77 W/m²/100lx)

Oblast hodnocení 1

umělé

Vodorovná

Em

708 lx

Emin

436 lx

Emin/Eav (Uo)

0.62

Emin/Emax (Ud)

0.44

UGR (3.7H 3.2H)

<=19.8

Pozice

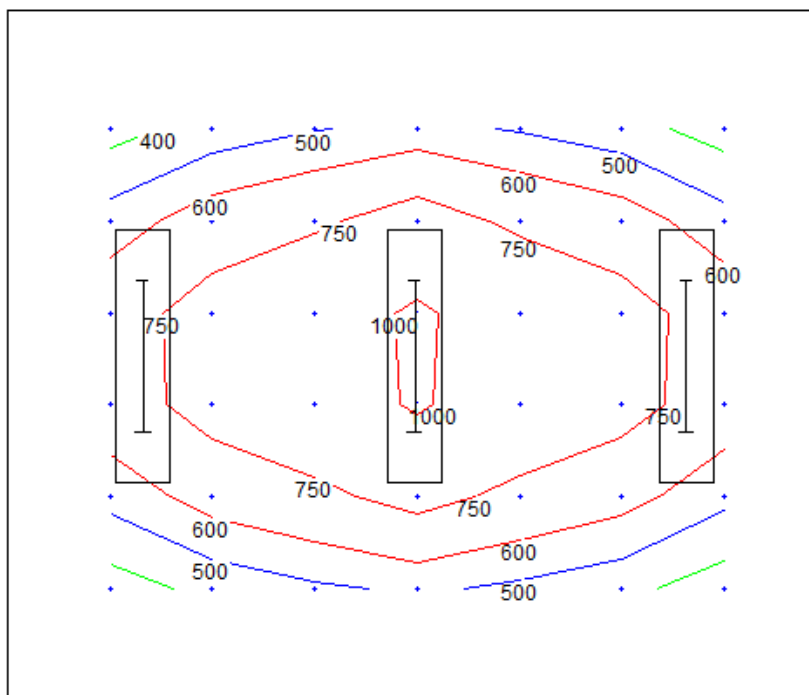
0.85 m

Obr. 29 Výpočet umělého osvětlení pomocí programu RELUX

7.2.3. Výsledky výpočtu umělého osvětlení pomocí programu WILS 6.4.

Abychom následně z výpočtu umělého osvětlení mohli generovat úspory je důležité do programu WILS nainportovat výpočet denního osvětlení z programu WDLS. Následně do projektu v programu WDLS osadíme svítidla, umístíme pracovní plochu a nastavíme parametry výpočtu. Na obrázku níže lze vidět izofoty umělého osvětlení.

Horizontální: Emin: 344.7 Em: 641.5 Emax: 1028.2 Uo=Emin/Emed: 0.54 Z: 0.74



Obr. 30 Výpočet umělého osvětlení pomocí programu WILS

7.2.4. Porovnání výsledků výpočtů umělého osvětlení z programů DIALux, RELUX, WILS

U umělého osvětlení se výsledky rovněž mírně liší, i v tomto případě to bude nejspíše zapříčiněno rozmístěním výpočtových bodů, které opět u programu DIALux a Relux jsou umístěny 0,5m od obvodových stěn. U programu WILS je tomu jinak. Zde jsou výpočtové body blíže obvodových stěn, a proto se minimální hodnota osvětlenosti liší, maximální složka je téměř shodná.

Tab. 12 Výsledky výpočtů denního osvětlení

Výpočetní program	D_{\min} [%]	D_m [%]	D_{\max} [%]	D_m/D_{\min} [-]
DIALUX	460	730	1021	0,63
RELUX	436	708	990	0,62
WILS	344,7	641,5	1028,2	0,54

8. Energetické vyhodnocení osvětlovací soustavy

Chceme-li dosáhnout maximálních úspor v osvětlování je potřeba osvětlení řídit. Nelze se spoléhat pouze na lidský faktor a proto je potřeba soustavu automatizovat. Soustava, která je předmětem diplomové práce, je řízena na konstantní hladinu osvětlení v závislosti na denním světle. Stínící zařízení bylo pro optimální porovnání s výpočetními programy po celou dobu ve stavu vypnuto. Systémem je pak nastaveno, aby osvětlovací soustava hlídala a regulovala světelný tok zdrojů tak, aby na srovnávací rovině bylo dosaženo hodnoty osvětlenosti 300lx i přesto, že osvětlovací soustava je navržena na 500lx. Osvětlovací soustava byla měřena po dobu jednoho měsíce tj. březen 2014. Budeme-li aproximovat tuto úsporu na průměrný sluneční svit a také na ostatní měsíce jsme schopni získat průměrnou spotřebu během celého roku. Soustava byla měřena 24h denně 7 dní v týdnu, avšak pro přesnější porovnání jsem použil pouze hodnoty naměřené v době 7:00 až 15:30 ve dnech pondělí až pátek. Tyto hodnoty by pak měli odpovídat skutečnosti v provozním režimu kanceláře. Automatický zápis hodnot probíhal 2x za hodinu.

8.1. Naměřené hodnoty spotřeby elektrické energie

Tab. 13 Přehled měsíční spotřeby elektrické energie v měsíci březnu 2014

Datum	spotřeba energie [kW/den]	Datum	spotřeba energie [kW/den]	Datum	spotřeba energie [kW/den]
1.3.2014	0,00	11.3.2014	355,60	21.3.2014	378,00
2.3.2014	0,00	12.3.2014	372,75	22.3.2014	0,00
3.3.2014	436,10	13.3.2014	392,00	23.3.2014	0,00
4.3.2014	360,50	14.3.2014	380,80	24.3.2014	620,90
5.3.2014	476,70	15.3.2014	0,00	25.3.2014	553,35
6.3.2014	470,40	16.3.2014	0,00	26.3.2014	493,85
7.3.2014	484,75	17.3.2014	489,65	27.3.2014	362,60
8.3.2014	0,00	18.3.2014	398,30	28.3.2014	395,50
9.3.2014	0,00	19.3.2014	484,05	29.3.2014	0,00
10.3.2014	387,45	20.3.2014	381,50	30.3.2014	0,00
				31.3.2014	1031,45
				Σ [kWh]	9,43

Naměřená spotřeba elektrické energie v měsíci březnu roku 2014 byla v době od 7:00 do 15:30 od pondělí do pátku v kontrolní místnost 9,43kW. Dle podkladů českého hydrometeorologického institutu byl měsíc březen ve slunečním svitu nadprůměrný. Průměr slunečního svitu v měsíci březnu v letech 1961-1999 je pro lokalitu Ostrava – Mošnov 112hodin. V březnu roku 2014 byl sluneční svit dle českého hydrometeorologického institutu 170hodin. Budeme-li považovat 112 hodin za průměr slunečního svitu, pak březen 2014 byl

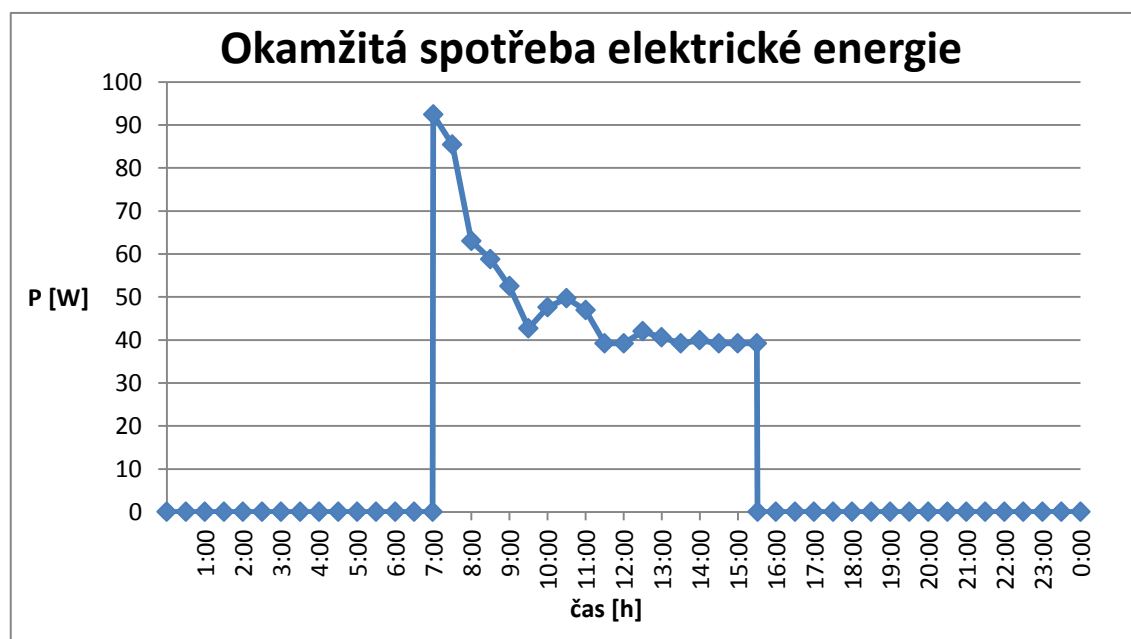
nadprůměrný o cca 50%. Při aproximování těchto předpokladů na naměřené hodnoty by mohla spotřeba vyrůst až na hodnotu cca 14kWh. Podrobnější měřené hodnoty jsou součástí této práce. V příloze je tabulka, která obsahuje všechny naměřené hodnoty za měsíc březen.

8.1.1. Denní průběh spotřeby elektrické energie

Pro zobrazení denního průběhu spotřeby elektrické energie byl vybrán pracovní den 5.3.2014 v době od 7:00 do 15:30.

Tab. 14 Průběh okamžité spotřeby dne 5.3.2014

datum	hodina	P [W]	P [Wh]	datum	hodina	P [W]	P [Wh]
5.3.2014	7:00	92,4	46,2	5.3.2014	11:30	39,2	19,6
5.3.2014	7:30	85,4	42,7	5.3.2014	12:00	39,2	19,6
5.3.2014	8:00	63	31,5	5.3.2014	12:30	42	21
5.3.2014	8:30	58,8	29,4	5.3.2014	13:00	40,6	20,3
5.3.2014	9:00	52,5	26,25	5.3.2014	13:30	39,2	19,6
5.3.2014	9:30	42,7	21,35	5.3.2014	14:00	39,9	19,95
5.3.2014	10:00	47,6	23,8	5.3.2014	14:30	39,2	19,6
5.3.2014	10:30	49,7	24,85	5.3.2014	15:00	39,2	19,6
5.3.2014	11:00	46,9	23,45	5.3.2014	15:30	39,2	19,6



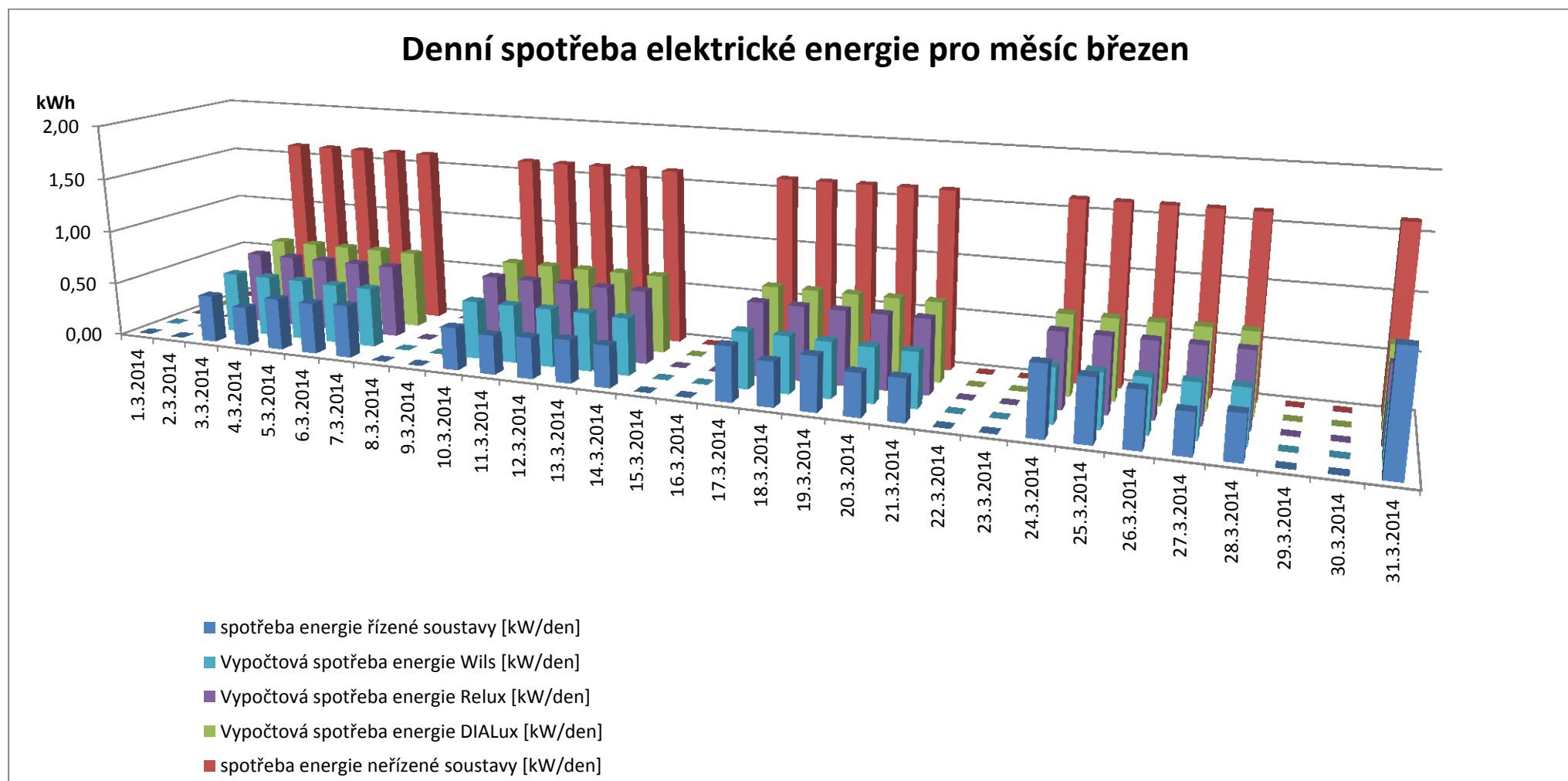
Obr. 31 Průběh okamžité spotřeby elektrické energie

8.1.2. Přehled naměřených a vypočtených hodnoty spotřeby elektrické energie pro měsíc březen 2014

V následující tabulce jsou uvedena naměřená a vypočtená data. Data, která jsou vypočtená pomocí software DIALux a Relux nejsou vypočtena jednotlivě pro každý den v roce, tak jako je tomu u naměřených hodnot a hodnot generovaných pomocí software WILS, ale jsou vždy pro celý měsíc. Pro přehlednost jsou v následující tabulce hodnoty vypočtené spotřeby elektrické energie rozděleny poměrem na dny. Data v tabulce jsou uvažována pro provoz místnosti jako kanceláře tj. 42,5hodin za týden. Vše je pak přehledně zobrazeno v grafu, kde leze jednoduše porovnat hodnoty neřízené soustavy, reálné řízené soustavy a hodnoty výpočtových programů, které jsou parametry nastaveny tak, aby odpovídali provoznímu režimu kanceláře.

Tab. 15 Porovnání naměřených a vypočtených hodnot.

Datum	spotřeba energie řízené soustavy [kWh/den]	spotřeba energie neřízené soustavy [kWh/den]	Výpočtová spotřeba energie DIALux [kWh/den]	Výpočtová spotřeba energie Relux [kWh/den]	Výpočtová spotřeba energie Wils [kWh/den]	Datum	spotřeba energie řízené soustavy [kWh/den]	spotřeba energie neřízené soustavy [kWh/den]	Výpočtová spotřeba energie DIALux [kWh/den]	Výpočtová spotřeba energie Relux [kWh/den]	Výpočtová spotřeba energie Wils [kWh/den]	Datum	spotřeba energie řízené soustavy [kWh/den]	spotřeba energie neřízené soustavy [kWh/den]	Výpočtová spotřeba energie DIALux [kWh/den]	Výpočtová spotřeba energie Relux [kWh/den]	Výpočtová spotřeba energie Wils [kWh/den]
1.3.2014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11.3.2014	355,60	1620,00	718,10	670,00	530,00	21.3.2014	378,00	1620,00	718,10	670,00	490,00
2.3.2014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12.3.2014	372,75	1620,00	718,10	670,00	530,00	22.3.2014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3.3.2014	436,10	1620,00	718,10	670,00	560,00	13.3.2014	392,00	1620,00	718,10	670,00	530,00	23.3.2014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.3.2014	360,50	1620,00	718,10	670,00	560,00	14.3.2014	380,80	1620,00	718,10	670,00	520,00	24.3.2014	620,90	1620,00	718,10	670,00	480,00
5.3.2014	476,70	1620,00	718,10	670,00	560,00	15.3.2014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25.3.2014	553,35	1620,00	718,10	670,00	480,00
6.3.2014	470,40	1620,00	718,10	670,00	550,00	16.3.2014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26.3.2014	493,85	1620,00	718,10	670,00	480,00
7.3.2014	484,75	1620,00	718,10	670,00	550,00	17.3.2014	489,65	1620,00	718,10	670,00	510,00	27.3.2014	362,60	1620,00	718,10	670,00	480,00
8.3.2014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18.3.2014	398,30	1620,00	718,10	670,00	510,00	28.3.2014	395,50	1620,00	718,10	670,00	480,00
9.3.2014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19.3.2014	484,05	1620,00	718,10	670,00	500,00	29.3.2014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.3.2014	387,45	1620,00	718,10	670,00	530,00	20.3.2014	381,50	1620,00	718,10	670,00	490,00	30.3.2014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
												31.3.2014	1031,45	1620,00	718,10	670,00	460,00
												Σ [kWh]	9,71	34,02	15,08	14,07	10,78
												úspora [kWh]		24,31			
												úspora [%]		72,28%			



Obr. 32 Denní spotřeba elektrické energie pro měsíc březen

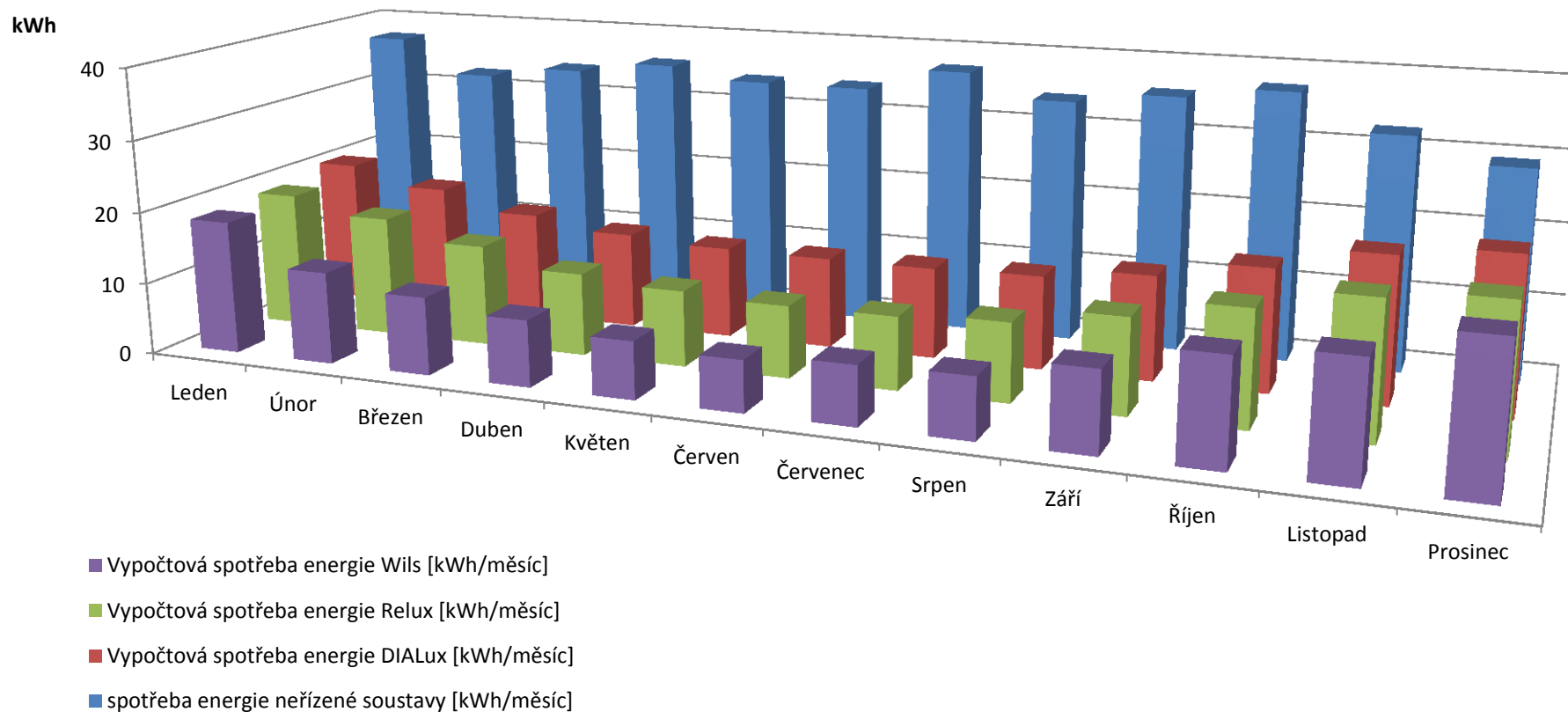
8.1.3. Přehled naměřených a vypočtených hodnoty spotřeby elektrické energie pro jednotlivé měsíce

Spotřeba elektrické energie neřízené soustavy je uvažována pro rok 2014. Pro jednotlivé měsíce jsou hodnoty neřízené osvětlovací soustavy počítány podle počtu pracovních dní. Provozní režim místnosti je opět uvažován jako pro kancelář tj. 42,5 hodin týdně, shodně jsou pak nastaveny také výpočetní programy. Z grafu lze vidět jak je spotřeba závislá na délce dne během ročního období. V zimních měsících, kdy jsou nejkratší dny a nejméně slunečního svitu je spotřeba elektrické energie nejvyšší a v letních měsících je spotřeba téměř poloviční.

Měsíc	Spotřeba energie neřízené soustavy [kWh/měsíc]	Výpočtová spotřeba energie DIALux [kWh/měsíc]	Výpočtová spotřeba energie Relux [kWh/měsíc]	Výpočtová spotřeba energie Wils [kWh/měsíc]
Leden	37,26	20,3	18,9	18,48
Únor	32,4	17,75	16,72	12,75
Březen	34,02	15,08	14,07	10,78
Duben	35,64	13,46	11,52	9,2
Květen	34,02	12,76	10,58	7,97
Červen	34,02	12,65	10,01	7,11
Červenec	37,26	12,65	10,1	8,13
Srpen	34,02	12,99	10,86	8,38
Září	35,64	14,5	13,13	11
Říjen	37,26	16,94	15,78	14,39
Listopad	32,4	20,07	18,61	15,79
Prosinec	29,16	21,58	19,84	19,79
Σ [kWh]	413,1	190,73	170,12	143,77

Obr. 33 Přehled vypočtených hodnot spotřeby elektrické energie

Roční spotřeba elektrické energie u neřízené a řízené osvětlovací soustavy



Obr. 34 Přehled vypočtených hodnot spotřeby elektrické energie

9. Závěr

Předmětem této diplomové práce bylo ověřit možnosti úspor v osvětlování při použití automatizovaného řízení osvětlovací soustavy na konstantní hladinu osvětlení. Dále pak porovnat naměřené hodnoty spotřeby elektrické energie, kterou spotřebuje osvětlovací soustava provozovaná v režimu konstantní osvětlenosti s teoretickými výpočty spotřeby elektrické energie vypočtené pomocí nejpoužívanějších programů používaných k návrhu umělého osvětlení. Pro měření byla vybrána kancelářská místnost s osvětlovací soustavou tvořenou zářivkovými svítidly se zdroji T5, kterou lze považovat jako místo s nejvyšším potenciálem úspor.

Porovnáme-li naměřené a vypočtené hodnoty spotřeby elektrické energie při provozování osvětlovací soustavy v režimu konstantní osvětlenosti, dostáváme se k závěru, že výpočetní programy jsou schopny nastínit potenciál úspor, avšak nelze se těmito daty plně řídit. Výše úspor záleží na orientaci místnosti ke světovým stranám, nejvýhodnější je pak stmívat osvětlovací soustavy orientované k východní, jihovýchodní až jižní straně, kde dochází k přímému slunečnímu osvětlení. Úspora elektrické energie lze dosáhnout i při regulování soustav, kde není využito denního světla. Zde tvoří potenciál úspor předimenzování osvětlovací soustavy. Toto předimenzování je způsobené vlivem stárnutí materiálů a použitých světelných zdrojů. Projektant musí navrhnout osvětlovací soustavu tak, aby na konci své životnosti dosahovala potřebných parametrů. Ta část světla, která je nad normovou hodnotou, pro kancelář 500lx, je možné pomocí řízení osvětlení zcela odstranit. Takto provozovaná soustava může například v počáteční fázi svítit jen na 80% světelného toku, aby splňovala požadavky ČSN EN 12 464-1. Vlivem stárnutí se úspora bude snižovat. Na konci životnosti osvětlovací soustavy by správně navržená svítidla měla svítit na 100% a na pracovní ploše by mělo být dosaženo požadované normativní hodnoty osvětlení. Některé předřadné přístroje již mají funkci zajišťující tyto možnosti integrovanou ve svém softwaru. Např. proudové LED drivery firmy OSRAM lze softwarově naprogramovat tak, aby lineárně rostla velikost proudu v závislosti na provozních hodinách. Toto lineární zvyšování by mělo pokrýt právě snižující se světelný tok zdroje a účinnost svítidla během celé životnosti. Tímto způsobem by mohla být u LED zdrojů odstraněna nutnost světelných senzorů v místnostech, kde se nemůže uvažovat s přírůstkem osvětlení z denního světla (například místnosti na severních a západních stranách objektu).

Pro výpočty potenciálu úspor jsem zvolil programy DIALux, RELUX a WILS. Z uživatelského hlediska jako nejpříjemnější se jeví program DIALux. Naopak program WILS má nevýhodu, že je potřeba použití dvou programů. Nejprve je nutné vytvořit výpočet denního osvětlení v programu WDLS a následně importovat soubor do programu WILS a pokračovat ve výpočtu. Dosažené úspory elektrické energie vychází ve všech programech obdobně. Záleží na nastavení vstupních parametrů a výpočtových bodech. Všechny výpočtové programy pracují na základě normy ČSN EN 15193. Programy DIALux a Relux mohou sloužit také jako designové, lze zde vkládat různé předměty a tvořit vizualizace. Pro výpočet osvětlení toto není až tak vhodné, protože se často stává, že výpočtový bod sítě je skryt v nábytku nebo jiných prvcích interiéru a

následkem tohoto dochází ke zkreslování výpočtu. DIALux a Relux používají abnormálně hustou síť výpočtových bodů, která vede k přísnějším kritériím v hodnocení osvětlení. Výpočet, který v programu WILS plně vyhovuje normativním požadavkům v programech DIALux a Relux nevyhoví. Opět je to způsobeno množstvím výpočetních bodů. V obou programech je možné nastavit počet a vzdálenost výpočtových bodů, ale nelze vyčíst přesné souřadnice jako je tomu ve WILSu. Tyto odchylky vedou k neshodám při výpočtech v jednotlivých programech. Kdyby byly výpočtové body sjednoceny do shodných souřadnic, pak by výsledky denního a umělého osvětlení vycházely shodně, protože použitá vstupní data by byla naprosto shodná a všechny výpočetní programy používají normativní postupy. Obdobně by pak tomu bylo při energetických úsporách.

Snižování spotřeby elektrické energie lze dosáhnout pomocí řízení osvětlení, je však zapotřebí zhodnotit konkrétní situaci a možnosti aplikování řízení osvětlení. Pro byty a klasické rodinné domy jsou momentálně složitější řídicí systémy nerentabilní. Doba návratnosti je příliš vysoká na to aby bylo výhodné řízení použít. Potenciál úspor bych zde viděl v použití světelných zdrojů s vyšším měrným výkonem, jako jsou kompaktní zářivky nebo LED. Existují však také prostory, které není vhodné těmito zdroji nahrazovat například z historických důvodů. Pro větší firmy nebo kancelářské prostory je však již řízení osvětlení vhodné, v takových to prostorech kde je trvalý provoz lze dosáhnout návratnosti během pár let. Při těchto aplikacích se investorům vyplatí investovat do řízení osvětlení.

10. Seznam obrázků

Obr. 1 Poměrná pozorovací vzdálenost	2
Obr. 2 Složky činitele denní osvětlenosti [2]	7
Obr. 3 Znázornění úhlu clonění	14
Obr. 4 Kruithofův diagram [12]	16
Obr. 5 Změna osvětlenosti v průběhu života osvětlovací soustavy [8]	17
Obr. 6 Definice svítivosti [20]	21
Obr. 7 Definice steradiánu [20]	22
Obr. 8 Definice osvětlenosti	23
Obr. 9 Schéma základního rozdělení světelných zdrojů	24
Obr. 10 Klasická žárovka [19]	25
Obr. 11 Halogenová žárovka [17] [18]	25
Obr. 12 Lineární zářivka T5 [16]	26
Obr. 13 Kompaktní zářivka	27
Obr. 14 Induktivní výbojka [15]	27
Obr. 15 Halogenidová výbojka [14]	28
Obr. 16 LED dioda CREE XT-E[13]	28
Obr. 17 Základní zapojení analogového stmívání 1-10V [28]	30
Obr. 18 Základní zapojení stmívání DSI [28]	31
Obr. 19 Základní zapojení stmívání DALI [28]	31
Obr. 20 Senzor LSLI firmy OSRAM [22]	33
Obr. 21 Princip funkce světelného senzoru [23]	33
Obr. 22 Princip funkce kombinovaného senzoru [24]	34
Obr. 23 Umístění měřené laboratoře [25]	35
Obr. 24 Výpočet činitele denní osvětlenosti pomocí programu DIALux	36
Obr. 25 Výpočet činitele denní osvětlenosti pomocí programu RELUX	37
Obr. 26 Výpočet činitele denní osvětlenosti pomocí programu WDLS	38
Obr. 27 Elkovo Čepelík ZC T5 228/12LOS ZK 2x28W T5 [26]	39
Obr. 28 Výpočet umělého osvětlení pomocí programu DIALux	40
Obr. 29 Výpočet umělého osvětlení pomocí programu RELUX	41

Obr. 30 Výpočet umělého osvětlení pomocí programu WILS.....	42
Obr. 31 Průběh okamžité spotřeby elektrické energie	44
Obr. 32 Denní spotřeba elektrické energie pro měsíc březen.....	46
Obr. 33 Přehled vypočtených hodnot spotřeby elektrické energie.....	47
Obr. 34 Přehled vypočtených hodnot spotřeby elektrické energie.....	48

11. Seznam tabulek

Tab. 1 Hodnoty činitele prostupu světla u vybraných materiálů při kolmém dopadu světla [2] ..	5
Tab. 2 Činitel znečištění [2]	6
Tab. 3 Směrné hodnoty činitele odrazu světla běžných povrchů [2]	8
Tab. 4 Třídění zrakových činností a hodnoty činitele denní osvětlenosti [2]	9
Tab. 5 Hodnoty intenzit osvětlení bezprostředního okolí úkolu v závislosti na osvětlenosti úkolu [4]	13
Tab. 6 Jasy světelných zdrojů a minimální úhly clonění [4]	14
Tab. 7 Barevné tóny světelných zdrojů [4]	16
Tab. 8 Kategorie čistoty dle TNI 36 0451 [27]	18
Tab. 9 Doporučené intervaly čištění dle TNI 36 0451 [27]	18
Tab. 10 Školská a výchovná zařízení – Školní budovy [4]	20
Tab. 11 Výsledky výpočtů denního osvětlení	38
Tab. 12 Výsledky výpočtů denního osvětlení	42
Tab. 13 Přehled měsíční spotřeby elektrické energie v měsíci březnu 2014	43
Tab. 14 Průběh okamžité spotřeby dne 5.3.2014	44
Tab. 15 Porovnání naměřených a vypočtených hodnot.	45

12. Seznam literatury:

- [1] KOLEKTIV AUTORŮ. Kurz osvětlovací techniky XXX.
- [2] ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov.
Část 1: základní požadavky
- [3] DENNÍ A SDRUŽENÉ OSVĚTLENÍ skripta Univerzity Tomáše Bati
Dostupné z webu: [ufmi.ft.utb.cz/ustav_fyziky_a_materiálového inženýrství](http://ufmi.ft.utb.cz/ustav_fyziky_a_materi%C3%A1lov%C3%A9ho_in%C5%99en%C3%BDrstv%C3%AD)
- [4] ČSN-EN 12 464-1 Světlo a osvětlení- Osvětlení vnitřních pracovních prostor. Část 1
vnitřní pracovní prostory
- [5] SKRIPTA VŠB TOU OSTRAVA- SVĚTLO A OSVĚTLOVÁNÍ
ing. Ctírad Koudelka
- [6] ÚSPORY ENERGIE A OSVĚTLOVÁNÍ PŘI HODNOCENÍ ENERGETICKÉ
NÁROČNOSTI BUDOV dostupné z webu:
http://www.csorsostrava.cz/publikace/Uspory_energie_v_osvetlovani_pri_hodnoceni_energeticke_narocnosti_budov/Zaverecna_zprava.pdf
- [7] STROBOSKOPICKÝ JEV dostupné z webu
http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=8aedf8656eed207376ec746c61h&key=736
- [8] UDRŽOVACÍ ČINITEL SVĚTELNÉ SOUSTAVY
<http://www.top-osvetleni.cz/navrhy-osvetleni/profesionalni-navrhy-osvetleni/446-udrzovaci-cinitel-svetelne-soustavy>
- [9] ÚDRŽBA VNITŘNÍCH OSVĚTLOVACÍCH SOUSTAVY TN 36 0451
- [10] ZÁKLADY ZÁKLADU SVĚTELNÉ TECHNIKY dostupné z webu:
http://feil.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/vuee/VUEE_Zaklady_svetelne_tech_niky.pdf
- [11] INTELIGENTNÍ ŘÍZENÍ OSVĚTLOVACÍCH SOUSTAV VNITŘNÍHO
OSVĚTLENÍ dostupné z webu:
http://www.csorsostrava.cz/publikace/inteligentni_ridici_systemy%20-%202003.pdf
- [12] KRUIHOFŮV DIAGRAM
<http://www.jimonlight.com/2009/09/25/the-kruithof-curve-color-temperature-vs-illuminance/>
- [13] Obrázek dostupný z webu
<http://www.msc-ge.com/en/7541-www.html?branch=1&language=3>

- [14] Obrázek dostupný z webu
<http://www.habartline.cz/produkty/svetelne-zdroje/halogenidove-vybojky>
- [15] Obrázek dostupný z webu
<http://www.led-a.cz/cs/lvd-svetelne-zdroje/330-indukcni-lvd-vybojka-inu-80w.html#>
- [16] Obrázek dostupný z webu
<http://www.zarovky-svitidla.cz/zarivka-t5-8w-4000k-65--linearni-zarivka,289.html>
- [17] Obrázek dostupný z webu
<http://www.globallux.cz/halogen-zarovka-j118-500w-8000lm-greenlux-gxzh008-eanGXZH008-skup103531.php>
- [18] Obrázek dostupný z webu
<http://www.svitidla-osvetleni.biz/halogenove-zarovky/1053-halogenova-zarovka-g9-60w-premium-kanlux.html>
- [19] Obrázek dostupný z webu
<http://www.elektromaterial-lb.cz/zarovka-15w-230v-e27.html>
- [20] Obrázek dostupný z webu
http://www.a2a.cz/html/faq_zdrave_svetlo.html
- [21] INTELIGENTNÍ ŘÍDICÍ SYSTÉMY
http://www.csorsostrava.cz/publikace/inteligentni_ridici_systemy%20-%202003.pdf
- [22] Obrázek dostupný z webu
http://www.osram.com/media/resource/hires/334330/touch-dim-ls-li--light-sensor.pdf?search_result=%2fosram_com%2fsearch%2fadvanced_search.jsp%3faction%3ddosearch%26inp_searchterm_1%3dLS%2bLI%26website_name%3dosram_com
- [23] Obrázek dostupný z webu
http://casopisstavebnictvi.cz/inteligentni-systemy-rizeni-osvetleni_A2883_I11-12_09
- [24] Obrázek dostupný z webu
<http://blog.sparksdirect.co.uk/tag/dimming-detectors/>
- [25] Obrázek dostupný z webu
<http://www.mapy.cz>
- [26] Obrázek dostupný z webu
<http://www.elkovo-cepelik.cz/>

- [27] TECHNICKÁ NORMALIZAČNÍ INFORMACE TNI 36 0451 Údržba vnitřních osvětlovacích soustav
- [28] Obrázek dostupný z webu
<http://www.e-light.cz/zprava/179/>

13. Seznam příloh:

Příloha č.

1	tištěná, na CD	Výpočet denního osvětlení DIALux
2	tištěná, na CD	Výpočet denního osvětlení Relux
3	tištěná, na CD	Výpočet denního osvětlení WDLS
4	tištěná, na CD	Výpočet umělého osvětlení DIALux
5	tištěná, na CD	Výpočet umělého osvětlení Relux
6	tištěná, na CD	Výpočet umělého osvětlení WILS
7	tištěná, na CD	Energetické vyhodnocení DIALux
8	tištěná, na CD	Energetické vyhodnocení Relux
9	tištěná, na CD	Energetické vyhodnocení WDLS WILS
10	tištěná, na CD	Tabulka slunečního svitu pro měsíc březen 2014

Příloha č. 1

Výpočet denního osvětlení DIALux

Příloha č. 2

Výpočet denního osvětlení Relux

Příloha č. 3

Výpočet denního osvětlení WDLS

Příloha č. 4

Výpočet umělého osvětlení DIALux

Příloha č. 5

Výpočet umělého osvětlení Relux

Příloha č. 6

Výpočet umělého osvětlení WILS

Příloha č. 7

Energetické vyhodnocení DIALux

Příloha č. 8

Energetické vyhodnocení Relux

Příloha č. 9

Energetické vyhodnocení WDLS a WILS

Příloha č. 10

Tabulka slunečního svitu pro měsíc březen 2014

